

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ МСХА
имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА» (ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА ИМЕНИ К.А.
ТИМИРЯЗЕВА)

На правах рукописи

НАДЖОДОВ БОБУРДЖОН БАХОДУРОВИЧ

СЕЛЕКЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОЛЛЕКЦИИ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ
ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО
РАЙОНА НЕЧЕРНОЗЁМНОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Специальность: 4.1.2. Селекция,
семеноводство и биотехнология растений

Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:

Баженова Светлана Сергеевна
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Москва, 2026 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	13
1.1 Значение пшеницы для российского и мирового сельскохозяйственного производства.....	13
1.2 Селекция пшеницы в Центральном районе Нечернозёмной зоны России	14
1.3 Синтетическая пшеница как исходный материал для селекции яровой мягкой пшеницы	17
1.4 Основные направления селекции яровой мягкой пшеницы.....	20
1.5 Селекция яровой мягкой пшеницы на повышение продуктивности.....	22
1.5 Продолжительность вегетационного периода.....	23
1.7 Селекция яровой мягкой пшеницы на качество зерна	26
1.8 Селекция яровой мягкой пшеницы на устойчивость к полеганию.....	27
1.9 Селекция яровой мягкой пшеницы на устойчивость к грибным болезням	29
1.10 Селекция яровой мягкой пшеницы на устойчивость к засухе	30
1.11 Использование озимых форм в селекции яровой мягкой пшеницы.....	33
1.12 Маркер-ориентированная селекция (MAS)	34
1.13 Распространение пшенично-ржаных транслокаций 1RS в селекции яровой мягкой пшеницы	36
1.14 Гены короткостебельности <i>Rht</i>	38
1.15 Гены фотопериодической чувствительности <i>Ppd-1</i>	40
1.16 Гены реакции на яровизацию <i>Vrn-1</i>	42
1.17 Высокомолекулярных глютеинин-кодирующих локусов <i>Glu-1</i>	43
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ, МЕТОДИКА И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА	47
2.1 Растительный материал для исследования.....	47
2.2 Методы исследований.....	49
2.2.1 Посев и агротехника.....	49
2.3 Метеорологические условия в годы проведения эксперимента.....	49
2.4 Характеристика почвенно-климатических условий места проведения эксперимента.....	53

2.5 Методы полевых оценок яровой мягкой пшеницы	53
2.6 Методы определения физико-биохимических свойств зерна пшеницы	54
2.7 Выделение геномной ДНК	54
2.8 Метод идентификации высокомолекулярных глютеинин-кодирующих локусов <i>Glu-1</i> (HMW-GS).....	55
2.9 ПЦР- идентификация пшенично-ржаной транслокации 1AL.1RS и 1BL.1RS	56
2.10 ПЦР-идентификация аллельного состояния генов <i>Rht-B1</i> , <i>Rht-D1</i> и <i>Rht8</i>	56
2.11 ПЦР-идентификация генов <i>Vrn-1</i>	57
2.12 ПЦР-анализ для генов <i>Ppd-1</i>	59
2.13 Методика лабораторной выпечки хлеба из пшеничной муки	59
ГЛАВА 3. ПОЛЕВАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ И ЛИНИЙ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ.....	61
3.1 Анализ сортов и линий яровой мягкой пшеницы по продолжительности вегетационного периода и устойчивости к неблагоприятным факторам среды.....	61
3.1.1 Продолжительность вегетационного периода у сортов яровой мягкой пшеницы.....	62
3.2 Анализ линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ по продолжительности вегетационного периода и устойчивости к неблагоприятным факторам среды.....	66
3.2.1 Продолжительность вегетационного периода у линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ.....	66
3.3 Оценка сортов по высоте растений и устойчивости к полеганию.....	70
3.4 Оценка высоты растений и устойчивость к полеганию линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ.....	74
3.5 Оценка устойчивости сортов яровой мягкой пшеницы к грибным болезням.....	77
3.6 Устойчивость линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ к грибным болезням.....	83
3.7 Урожайность и элементы ее структуры.....	87
3.7.1 Оценка сортов яровой мягкой пшеницы по урожайности и основным элементам структуры урожая.....	87

3.7.2 Оценка линий СИММУТ яровой мягкой пшеницы по урожайности и основным элементам структуры урожая.....	93
ГЛАВА 4 ОЦЕНКА СОРТОВ И ЛИНИЙ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПО КАЧЕСТВУ ЗЕРНА	99
4.1 Характеристика физико-биохимических свойств зерна сортов яровой мягкой пшеницы.....	99
4.2 Характеристика физико-биохимических свойства зерна линий яровой пшеницы СИММУТ.....	109
4.3 Оценка хлебопекарных качеств зерна сортов яровой мягкой пшеницы.....	117
4.4 Оценка хлебопекарных качеств зерна линий яровой мягкой пшеницы СИММУТ	122
ГЛАВА 5 РЕЗУЛЬТАТЫ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ГЕНОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ.....	126
5.1 Результаты молекулярно-генетической идентификации пшенично-ржаной транслокации 1AL.1RS и 1BL.1RS.....	126
5.2 Результаты молекулярно-генетической идентификации генов короткостебельности <i>Rht-B1</i> , <i>Rht-D1</i> и <i>Rht8</i>	130
5.3 Результаты молекулярно-генетической идентификации генов <i>Ppd-1</i>	134
5.4 Результаты молекулярно-генетической идентификации генов <i>Vrn-1</i>	137
5.5 Результаты молекулярно-генетической идентификации высокомолекулярных глютеинин-кодирующих локусов <i>Glu-1</i> (HMW-GS)	140
ГЛАВА 6 ИТОГОВАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ И ЛИНИЙ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПО КОМПЛЕКСУ ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ	143
6.1 Влияние генов короткостебельности <i>Rht-B1</i> на высоту растений.....	143
6.2 Влияние пшенично-ржаных транслокаций 1RS на устойчивость к грибным болезням	145
6.3 Влияние аллельного состояния локуса <i>Vrn-A1</i> на продолжительность вегетационного периода	146
6.4 Оценка хлебопекарного качества зерна при наличии пшенично-ржаных транслокаций 1RS.....	147

6.5 Анализ корреляционных связей.....	148
6.6 Комплексная индексная оценка сортов и линий яровой мягкой пшеницы по хозяйственно ценным признакам	150
6.7 Практическое применение полученных результатов	153
Заключение.....	154
Выводы	155
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	158
ПРИЛОЖЕНИЯ	190

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Актуальность исследований обусловлена необходимостью повышения эффективности селекции яровой мягкой пшеницы на основе комплексного изучения исходного материала по продуктивности, адаптивности, устойчивости к болезням, качеству зерна и молекулярно-генетическим маркерам хозяйственно ценных признаков. Особое значение данная проблема имеет для Центрального района Нечернозёмной зоны России, где реализация потенциала урожайности и качества зерна яровой пшеницы во многом ограничивается нестабильностью гидротермических условий, колебаниями температуры и влагообеспеченности в течение вегетационного периода, а также распространением грибных болезней. В этих условиях особую актуальность приобретает выявление сортов и линий, сочетающих высокую урожайность, устойчивость к биотическим и абиотическим стрессовым факторам, ценные хлебопекарные качества и наличие генетических факторов, перспективных для использования в селекционном процессе. Достоверность полученных результатов подтверждается трёхлетними полевыми, лабораторными и молекулярно-генетическими исследованиями.

Степень разработки. Изучение исходного материала играет ключевую роль в селекции сельскохозяйственных растений. Вопросы селекционно-генетической оценки коллекций яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) остаются актуальными в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России, характеризующегося сложными агроклиматическими условиями (Неттевич, 1983; Антошина, 2000; Дёмина, 2009; Давыдова, 2011; Потоцкая, 2003, 2020; Игнатьева, 2020; Ворончихина, 2022). В последние годы в Центральном районе Нечернозёмной зоны России достигнут значительный прогресс в селекции яровой пшеницы, что подтверждается успехами таких ведущих научных учреждений, как ФИЦ «Немчиновка», ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», ФГБНУ «ВНИИФ», ФГБНУ «Рязанский НИИСХ», а также рядом российских агрокомпаний, работающих в данном регионе, которые вносят вклад в создание и улучшение

урожая и качества яровой мягкой пшеницы (Игнатьева и др., 2020). В настоящее время в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации включено 362 сорта яровой мягкой пшеницы, часть из которых характеризуется потенциалом урожайности 8–10 т/га, высокой устойчивостью к основным заболеваниям и высокими хлебопекарными качествами зерна (Давыдова, 2020; Государственный реестр селекционных достижений, 2026).

Цель исследования – изучить сорта и линии яровой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения по комплексу генотипических и фенотипических хозяйственно ценных признаков, и выделить новый исходный материал для вовлечения в селекционный процесс в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России.

Задачи исследования:

1. Оценить образцы яровой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения по хозяйственно ценным признакам.
2. Определить наличие аллелей генов короткостебельности *Rht-B1b*, *Rht-D1b* и *Rht8c* среди изученных образцов.
3. Провести молекулярно-генетическую идентификацию пшенично-ржаных транслокаций с участием 1RS и сопоставить их с полевой устойчивостью к грибным болезням.
4. Провести молекулярно-генетическую идентификацию аллелей генов фотопериодической чувствительности *Ppd-1*.
5. Провести молекулярно-генетическую идентификацию аллелей генов реакции на яровизацию *Vrn-1* и оценить их связь с продолжительностью межфазных периодов.
6. Провести молекулярно-генетический анализ высокомолекулярных глютеинов, кодируемых локусами *Glu-1*, и выявить аллели, ассоциированные с высоким качеством зерна.
7. Провести комплексную многокритериальную (индексную) оценку изученных образцов по совокупности хозяйственно ценных признаков и выделить генотипы с наиболее благоприятным их сочетанием.

8. На основе выявленных доноров генов хозяйственно ценных признаков получить новый материал для дальнейшего использования в селекции яровой мягкой пшеницы.

Научная новизна исследования. Впервые на основе изучения коллекции сортов и линий яровой мягкой пшеницы различного происхождения по комплексу фенотипических и генотипических данных в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны Российской Федерации выявлены перспективные образцы, сочетающие оптимальную продолжительность вегетационного периода, высокую продуктивность, устойчивость к основным грибным болезням и высокие хлебопекарные качества. Впервые выполнена молекулярно-генетическая идентификация исследуемых образцов мягкой яровой пшеницы по ключевым генам: короткостебельности *Rht-B1*, *Rht-D1* и *Rht8*; реакции на яровизацию *Vrn-1*, фотопериодической чувствительности *Ppd-1*, а также по наличию пшенично-ржаных транслокаций 1AL.1RS и 1BL.1RS. Впервые у исследуемых образцов выполнена молекулярно-генетическая идентификация высокомолекулярных глютеинов (*Glu-1*). На основании проведённых исследований подобраны родительские пары и впервые создан новый селекционный материал - гибридное потомство более 50 комбинаций скрещиваний яровой мягкой пшеницы.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные результаты имеют важное теоретическое и прикладное значение для дальнейшего создания адаптивных, высокопродуктивных сортов яровой мягкой пшеницы, обладающих высоким качеством зерна для условий Центрального района Нечернозёмной зоны России. Идентифицированы аллели генов короткостебельности *Rht-B1b*, *Rht-D1b*, *Rht8* и выделены их доноры среди изученных образцов. По генам *Vrn-1* (*Vrn-A1*, *Vrn-B1* и *Vrn-D1*), ассоциированным со сроками колошения и продолжительностью вегетационного периода, определены доноры раннеспелости для селекции яровой мягкой пшеницы. Выявлены линии с редко встречающимся аллелем *Ppd-D1a*, определяющим фотопериодическую нечувствительность. Идентифицированы доноры пшенично-ржаных транслокаций 1AL.1RS и 1BL.1RS, ассоциированные с высокой

устойчивостью к грибным болезням. По высокомолекулярным глютеинин-кодирующим локусам *Glu-1* выявлены ценные, в том числе редко встречающиеся, аллельные комбинации, ассоциированные с высоким хлебопекарным качеством зерна. На основе оценки фенотипических и генотипических данных получено более 50 гибридных комбинаций F₁, часть которых в настоящее время доведена до F₂ и передана для дальнейшего использования в селекционном процессе. Полученные данные, а также выявленные маркеры, генотипы и методические подходы могут быть непосредственно использованы в селекционной практике при создании новых сортов яровой мягкой пшеницы.

Методология и методы исследований. Теоретическая часть основана на систематическом анализе и обобщении отечественных и зарубежных литературных источников по теме исследования. Экспериментальная часть реализована с применением общепринятых и специализированных методов полевых, лабораторных и молекулярно-генетических исследований, что обеспечило получение репрезентативного массива данных. Достоверность результатов подтверждена корректной статистической обработкой с использованием методов дисперсионного и корреляционного анализа.

Положения, выносимые на защиту:

1. сортообразцы яровой мягкой пшеницы, выделенные на основе комплексного анализа фенотипических и генотипических данных, сочетающие высокую продуктивность, высокое качество зерна и устойчивость к полеганию и основным грибным болезням в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России;
2. генотипы яровой мягкой пшеницы, представляющие ценность для селекции на устойчивость к полеганию и высокую продуктивность, выявленные на основе молекулярно-генетической идентификации аллелей генов короткостебельности *Rht-B1b*, *Rht-D1b* и *Rht8c*;
3. сортообразцы - носители пшенично-ржаных транслокаций 1AL.1RS и 1BL.1RS, представляющие интерес как источники комплексов генов устойчивости к грибным болезням;

4. аллели генов реакции на яровизацию *Vrn-1*, фотопериодической чувствительности *Ppd-1*, локусов *Glu-1*, представляющие интерес для селекции высокоадаптивных сортов яровой пшеницы с оптимальной продолжительностью вегетационного периода и высокими хлебопекарными качествами;

5. новый гибридный селекционный материал для отбора перспективных генотипов, полученный на основе комплексной оценки хозяйственно ценных признаков и маркер-опосредованной селекции, для создания новых сортов яровой мягкой пшеницы.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается использованием общепринятых и апробированных методов полевых, лабораторных и молекулярно-генетических исследований, а также корректной статистической обработкой данных. Результаты проведённых исследований были представлены более чем на 15 российских и международных научных конференциях, в том числе на конференциях «Пищевая биотехнология и продовольственная безопасность» (Тюмень, 2022), «Генетика и биотехнология XXI века: проблемы, достижения, перспективы» (Минск, 2022), «Достижения и перспективы селекции и технологий возделывания сельскохозяйственных культур» (Москва, 2023), «Современные проблемы генетики, геномики и биотехнологии» (Ташкент, 2023), «Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии» (Москва, 2023–2025), «Генофонд и селекция растений» (Новосибирск, 2024), «International Conference of Plant Biology and Biotechnology» (Almaty, 2024), «VIII съезде Вавиловского общества генетиков и селекционеров» (Саратов, 2024), «XVIII Курчатовской междисциплинарной молодёжной научной школе» (Москва, 2025), «PlantGen2025» (Новосибирск, 2025), «Курчатовском геномном форуме» (Москва, 2025), конференции «Генетика-2025» (Москва, 2025) и «5th International Plant Breeding Congress» (Antalya, Türkiye, 2025).

Публикации. По материалам диссертационного исследования опубликовано 24 печатные работы, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России по научной специальности 4.1.2.

Селекция, семеноводство и биотехнология растений (биологические науки), 2 статьи в издании, индексируемом в международной цитатно-аналитической базе данных, 1 статья в другом научном издании и 17 публикаций в материалах российских и международных научных конференций.

Личный вклад автора. Диссертационная работа выполнена при непосредственном участии автора на всех этапах исследования: анализ литературы, обоснование актуальности, постановка цели и задач; проведение полевых опытов, фенологических наблюдений, оценка устойчивости к полеганию и болезням, уборка и обработка материала; лабораторные исследования качества зерна и молекулярно-генетический анализ; статистическая обработка данных, интерпретация результатов и написание текста диссертации. Личный вклад автора составляет 85%, в опубликованных трудах не менее 80%.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 224 страницах, состоит из введения, включающего цель и задачи исследования, шести глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы и 10 приложений. Текст содержит 23 таблицы и 16 рисунков. Список использованной литературы 275 источников, в том числе 134 на иностранных языках.

Благодарности. Выражаю искреннюю благодарность доктору биологических наук, профессору Валентине Сергеевне Рубец за ценные знания, переданные мне ещё со студенческих лет, за профессиональное наставничество и формирование правильного научного подхода. Огромную благодарность выражаю кандидату биологических наук Михаилу Георгиевичу Дивашуку за предоставленную возможность проведения молекулярно-генетического анализа. Отдельную благодарность выражаю сотрудникам лаборатории: младшему научному сотруднику Тимофею Дмитриевичу Мохову за помощь в проведении молекулярно-генетических исследований; кандидату биологических наук, старшему научному сотруднику Михаилу Сергеевичу Баженову и Анастасии Геннадьевне Черноок за помощь, консультации и поддержку в ходе выполнения работы. Выражаю благодарность кандидату биологических наук, заведующему лабораторией маркерной и геномной селекции растений Ивану Викторовичу Груздеву за

возможность проведения исследований по идентификации генов и глутенин-кодирующих локусов, а также доктору биологических наук, ведущему научному сотруднику лаборатории маркерной и геномной селекции растений Илье Владимировичу Кирову за консультации и поддержку в ходе работы. Благодарю директора ФГБНУ ВНИИСБ, академика РАН Геннадия Ильича Карлова. Особую благодарность выражаю своему научному руководителю, кандидату сельскохозяйственных наук, доценту Светлане Сергеевне Баженовой за руководство, поддержку, ценные советы и помощь на всех этапах подготовки диссертационной работы. Также выражаю благодарность доктору сельскохозяйственных наук, профессору, заведующей кафедрой генетики, селекции и семеноводства Елене Александровне Вертиковой и директору Института агробиотехнологии Александре Васильевне Шитиковой.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Значение пшеницы для российского и мирового сельскохозяйственного производства

Пшеница является одной из ведущих зерновых культур мирового земледелия и имеет ключевое значение для обеспечения продовольственной безопасности. Зерно пшеницы служит важным источником энергии, растительного белка, углеводов, минеральных веществ и других питательных компонентов, необходимых в рационе человека. Благодаря высокой пищевой ценности, широкому распространению и универсальности использования пшеница занимает одно из центральных мест в структуре мирового производства зерна (Gianibelli et al., 2001; Godfray et al., 2009; FAO, 2017).

Среди зерновых культур пшеница характеризуется значительными площадями посевов и высоким объёмом валового производства зерна, что определяет её важную роль в аграрной экономике многих стран (Зимняков и др., 2020). Продукты переработки пшеницы, включая хлеб, хлебобулочные и макаронные изделия, широко используются в питании населения и являются важной составляющей продовольственного баланса. По данным Dadrasi и др. (2023), пшеница относится к числу основных культур, обеспечивающих продовольственные потребности значительной части населения мира. В Российской Федерации пшеница также является одной из важнейших сельскохозяйственных культур. Её производство имеет большое значение как для внутреннего продовольственного обеспечения, так и для экспортного потенциала страны. В связи с этим повышение урожайности, адаптивности, устойчивости к абиотическим и биотическим стрессам, а также улучшение качества зерна остаются приоритетными направлениями современной селекции пшеницы (Журавлева, 2015; Кудряшов и др., 2016).

В настоящее время пшеница выращивается на всех континентах, за исключением Антарктиды, демонстрируя высокую адаптивность к различным климатическим условиям. Среди основных стран-производителей выделяются Китай, Россия, США, Индия, Франция, Канада, а также Казахстан и Украина

(Helman и др., 2023). Эти страны в совокупности обеспечивают более 70% мирового производства зерна (рис.1.1).

По данным Министерства сельского хозяйства США (USDA), в 2025/2026 маркетинговом году мировое производство пшеницы оценивалось приблизительно в 842,1 млн т. К числу крупнейших производителей относились Китай и Европейский союз, на долю каждого из которых приходилось около 17 % мирового производства – 136,6 и 135,1 млн т соответственно. Индия занимала третье место с объёмом производства 117,9 млн т, или около 14 % мирового производства. Россия входила в число ведущих производителей пшеницы с объёмом производства около 90,0–91,4 млн т, что соответствовало примерно 11 % мирового объёма. Существенный вклад в мировое производство также вносили США, Канада, Пакистан, Австралия, Украина и Турция.

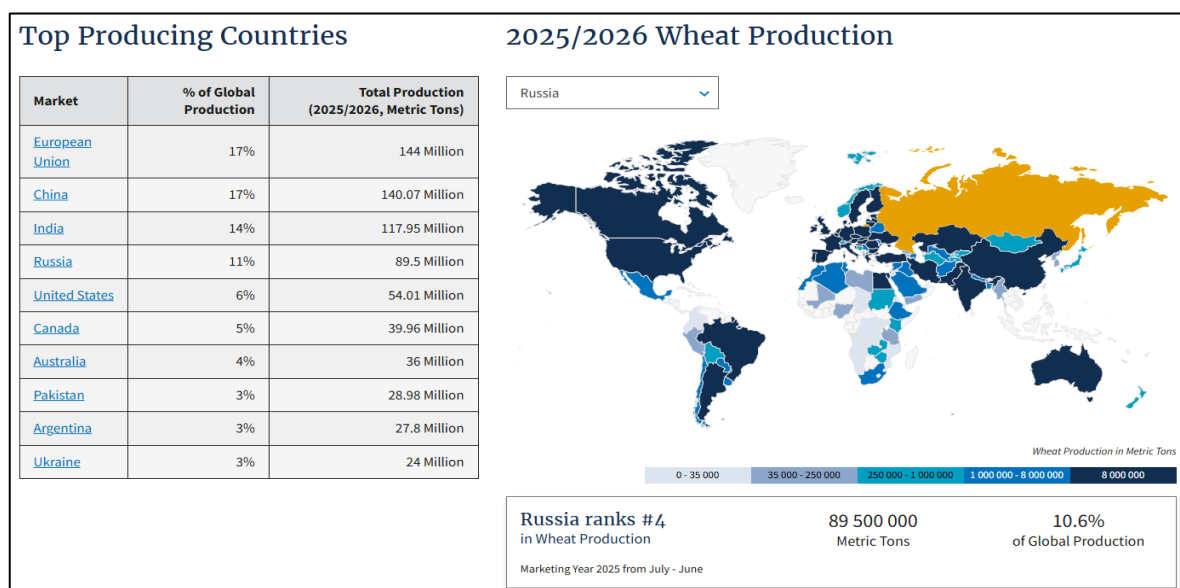


Рисунок 1.1 – Прогноз мирового производства пшеницы в 2025–2026 маркетинговом году

1.2 Селекция пшеницы в Центральном районе Нечернозёмной зоны России

В начале XX века пшеница не занимала ведущего положения в земледелии Нечернозёмной зоны России. Основными зерновыми культурами региона являлись озимая рожь и овёс, которые лучше соответствовали природно-климатическим условиям зоны. Пшеница возделывалась в ограниченных объёмах,

преимущественно в виде местных форм и сортов народной селекции, отличавшихся неоднородностью по морфологическим и хозяйственным признакам. Такие популяции часто представляли собой смесь различных разновидностей и биотипов, что ограничивало их селекционную ценность, но одновременно позволяло рассматривать их как источник адаптивных признаков (Фляксбергер, 1929; Сандухадзе и др., 2021).

Развитие научной селекции пшеницы в Нечернозёмной зоне России связано с деятельностью опытных учреждений и научных школ, сформировавшихся в начале XX века. Важную роль в становлении селекционной работы сыграли Шатиловская опытная станция, а также Полевая опытная станция Московского сельскохозяйственного института, ныне РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Существенный вклад в развитие селекции полевых культур внесли Д.Л. Рудзинский, С.И. Жегалов, А.Г. Лорх, Н.И. Вавилов и другие исследователи, заложившие основы систематического изучения исходного материала и создания сортов, адаптированных к условиям региона (Гончаров, 2005; Елина, 2007; Сандухадзе и др., 2021).

В условиях Центрального Нечернозёмья особое значение приобрела селекция яровой мягкой пшеницы, поскольку её успешное возделывание ограничивалось коротким вегетационным периодом, нестабильным влагообеспечением, поражением болезнями и риском неблагоприятных погодных условий в период формирования урожая (Писарев, 1964). Значительный вклад в решение этой проблемы внёс В.Е. Писарев. Им были обоснованы основные требования к сортам яровой пшеницы для Нечернозёмной зоны: скороспелость, устойчивость к болезням, способность эффективно использовать влагу первой половины лета, устойчивость к неблагоприятным факторам на ранних этапах онтогенеза и пригодность к ранним срокам сева.

Одним из значимых результатов этой работы стало создание сорта Московка, полученного с участием скороспелого сорта Тулун 70 и канадского раннеспелого сорта Китченер. Сорт Московка характеризовался высокой урожайностью, устойчивостью к фузариозу и шведской мухе, устойчивостью к полеганию,

крупным зерном и хорошими хлебопекарными качествами. В 1946 г. он был районирован в ряде областей Нечернозёмной зоны и сыграл важную роль в расширении возделывания яровой пшеницы в регионе. К числу исторически значимых отечественных сортов яровой пшеницы также относится Балаганка, отличавшаяся скороспелостью и устойчивостью к неблагоприятным условиям, что определило её значение как источника адаптивных признаков для дальнейшей селекции (Писарев, 1923; Писарев, 1964; Гончаров, 2007).

Дальнейшее развитие селекции яровой мягкой пшеницы в Центральном Нечернозёмье было связано с созданием сортов, сочетающих продуктивность, адаптивность, устойчивость к полеганию и болезням, а также высокое качество зерна. В работах отечественных селекционеров большое внимание уделялось гибридизации, индивидуальному отбору, беккроссам и другим методам классической селекции. При этом опыт селекции озимой пшеницы в регионе имел методическое значение, однако для яровой мягкой пшеницы особенно важными оставались скороспелость, устойчивость к стрессовым факторам и способность формировать стабильный урожай в условиях ограниченного периода вегетации. Значительный вклад в развитие селекции яровой мягкой пшеницы внёс Э.Д. Неттевич, создавший высокопродуктивные сорта яровой пшеницы и ячменя, возделываемые в Нечернозёмной зоне и Поволжье. Его научное направление было продолжено учёными-селекционерами, выпускниками РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, среди которых Н.С. Щеглова, В.П. Смолин, Н.В. Давыдова и другие исследователи (Коновалов и др., 2003; Пыльнев и др., 2024). Среди продолжателей научной школы Ю.Б. Коновалова следует отметить В.В. Пыльнева, П.М. Конорева, В.С. Сидоренко, В.Н. Игонина, В.С. Рубец и других учёных, внесших значительный вклад в селекцию зерновых культур в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России. Существенные результаты получены также в лаборатории селекции и первичного семеноводства яровой пшеницы ФИЦ «Немчиновка» под руководством Н.В. Давыдовой. За последние десятилетия здесь были созданы высокопродуктивные сорта яровой мягкой пшеницы, такие как Злата, Лада, МИС, Эстер, Невская, Богдана, Фалькона, Русалина и Амир. Среди них

особого внимания заслуживает сорт Злата, сочетающий раннеспелость, урожайность и высокие технологические качества зерна, благодаря чему он используется в качестве хлебопекарного стандарта для Центрального района Нечернозёмной зоны России (Давыдова, 2011).

В современных условиях селекция яровой мягкой пшеницы в Центральном районе Нечернозёмной зоны России направлена на создание сортов, сочетающих высокую урожайность, адаптивность к нестабильным гидротермическим условиям, устойчивость к листовой ржавчине, стеблевой ржавчине, мучнистой росе, септориозу и другим болезням, а также высокие технологические и хлебопекарные качества зерна. Существенную роль играет расширение генетического разнообразия исходного материала, включая использование сортов различного эколого-географического происхождения, селекционных линий и генетических доноров хозяйственно ценных признаков (Неттевич и др., 1972а; Неттевич и др., 1985б; Неттевич, 2000в).

В настоящее время в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, включено 362 сорта яровой мягкой пшеницы. Для Центрального региона выделены 47 сортов, среди которых 4 сорта относятся к сильной пшенице, 16 сортов характеризуются ценными хлебопекарными качествами, а 13 сортов отнесены к филлерам (Ворончихина, 2022; gossortrf.ru/ Государственный реестр селекционных достижений..., 2026).

1.3 Синтетическая пшеница как исходный материал для селекции яровой мягкой пшеницы

Сужение генетического разнообразия мягкой пшеницы является одной из актуальных проблем современной селекции. Интенсивное использование ограниченного числа высокопродуктивных сортов и родительских форм привело к уменьшению генетической вариабельности культурной пшеницы, что затрудняет дальнейшее повышение её адаптивности, устойчивости к болезням и продуктивности. В связи с этим особое значение приобретает использование диких сородичей пшеницы, обладающих ценными генами и аллелями, способными

расширить генетический пул культуры и повысить устойчивость сортов к абиотическим и биотическим стрессовым факторам. Такие виды рассматриваются как важные доноры хозяйственно ценных признаков, необходимых для создания сортов с высокой и стабильной урожайностью (Потоцкая и др., 2019а; Потоцкая и др., 2020б). Урожайность мягкой пшеницы в значительной степени определяется её устойчивостью к неблагоприятным факторам среды, включая засуху, температурные стрессы и поражение возбудителями болезней. Однако генетического разнообразия, имеющегося в пределах культурной мягкой пшеницы, не всегда достаточно для эффективного решения задач селекции, особенно при создании сортов с устойчивостью к комплексу грибных болезней. Ограниченность источников устойчивости делает необходимым привлечение родственных видов и интрогрессивных форм в качестве исходного материала (Давоян и др., 2012).

Одним из перспективных подходов к расширению генетического разнообразия мягкой пшеницы является использование синтетической гексаплоидной пшеницы (Synthetic Hexaploid Wheat, SHW). Такие формы создаются путём гибридизации тетраплоидной пшеницы *Triticum turgidum* L. с геномным составом AABB и диплоидного дикорастущего вида *Aegilops tauschii* Coss., несущего геном DD, с последующим удвоением хромосомного набора. В результате формируются гексаплоидные формы с геномным составом AABBDD, близкие к мягкой пшенице, но обладающие более широким генетическим разнообразием, прежде всего за счёт генома D (Rosyara et al., 2019; Потоцкая и др., 2021; Наджодов и др., 2024).

Первые формы синтетической гексаплоидной пшеницы были получены в 1940-х годах в исследованиях, направленных на изучение происхождения и филогенетических связей мягкой пшеницы (Kihara, 1944; McFadden, Sears, 1946). В дальнейшем было установлено, что *Aegilops tauschii* представляет собой ценный источник генов и аллелей, связанных с устойчивостью к болезням, адаптивностью и другими хозяйственно ценными признаками (Gill et al., 1986). С конца XX века синтетическая гексаплоидная пшеница стала активно использоваться не только как

объект генетических исследований, но и как исходный материал для практической селекции.

В настоящее время создано большое число образцов синтетической гексаплоидной пшеницы, полученных с использованием различных тетраплоидных форм пшеницы и образцов *Aegilops tauschii*. В ряде исследований показано, что SHW является ценным источником устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам, а также признаков, связанных с продуктивностью, качеством зерна и адаптивностью к различным условиям возделывания (Ogbonnaya et al., 2013; Rosyara et al., 2019; Хакимова и др., 2019). Использование таких форм позволяет расширить генетическую основу мягкой пшеницы и повысить эффективность селекционного процесса.

Значительный вклад в создание и распространение синтетических линий пшеницы внесли учёные Международного центра по улучшению кукурузы и пшеницы (CIMMYT, Мексика). Под руководством А. Mujeeb-Kazi и его коллег были созданы наборы синтетической пшеницы, включающие образцы с высокими агрономическими показателями и устойчивостью к болезням. Эти генетические ресурсы стали основой для селекционных программ во многих странах, включая Австралию, Китай, Индию и Пакистан (Mujeeb-Kazi et al., 2000; Mujeeb-Kazi, Delgado, 2001; Van Ginkel, Ogbonnaya, 2007; Yang et al., 2009; Шаманин и др., 2018).

В России изучение синтетической пшеницы связано с расширением международного сотрудничества и привлечением коллекций CIMMYT в селекционные программы. Одним из важных направлений стало исследование синтетических линий в условиях Западной Сибири, в том числе в рамках программы КАСИБ. Учёные Омского государственного аграрного университета проводили оценку синтетических линий по адаптивности, устойчивости к болезням и хозяйственно ценным признакам, что способствовало их вовлечению в отечественную селекцию яровой мягкой пшеницы (Потоцкая, 2003).

Работы по изучению синтетических форм пшеницы в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России ведутся под руководством И.Ф. Лапочкиной на протяжении нескольких десятилетий. Ещё в 1994 году были созданы коллекции

замещённых и дополненных хромосомами *Aegilops speltoides* Tausch. линий яровой мягкой пшеницы (Лапочкина, Волкова, 1994). В дальнейшем было установлено хромосомное расположение генов устойчивости к мучнистой росе в пшенично-эгилопсных линиях, в частности гена *Pm32* (Hsam, Lapochkina, Zeller, 2003). Обобщение результатов многолетних исследований по использованию чужеродной генетической изменчивости в селекции пшеницы представлено в фундаментальной монографии (Лапочкина, 2005). Коллекция «Арсенал» включает около 400 образцов. Генетический потенциал данной коллекции по генам устойчивости к бурой ржавчине был изучен и представлен в ряде публикаций (Лапочкина и др., 2007). Образцы коллекции оценивались на инфекционных фонах листовой и стеблевой ржавчины, а также мучнистой росы, в результате чего были выделены формы с комплексной устойчивостью к основным грибным болезням (Лапочкина и др., 2009; Лаббан и др., 2011). Отдельно изучались синтетические формы пшеницы, созданные на основе материала Канзасского университета и CIMMYT. Было показано, что данные формы могут служить источниками генетического разнообразия, устойчивости к болезням и других хозяйственно ценных признаков для использования в селекционных программах (Лапочкина и др., 2011а; Лапочкина и др., 2014б).

В РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева исследования синтетической пшеницы были начаты в 2016 г. Линии CIMMYT использовались для изучения адаптивности, устойчивости к неблагоприятным факторам среды, продуктивности и качества зерна, а также как исходный материал в гибридизации. Эти исследования показали перспективность синтетических линий для создания генотипов яровой мягкой пшеницы с повышенной устойчивостью к стрессовым факторам и улучшенными хлебопекарными качествами зерна (Ворончихина, 2022).

1.4 Основные направления селекции яровой мягкой пшеницы

Современная селекция пшеницы направлена на создание сортов, сочетающих высокую урожайность, адаптивность, устойчивость к абиотическим и биотическим

стрессовым факторам, а также высокое качество зерна. В условиях роста глобального спроса на продовольствие и изменения климата особое значение приобретают достижения генетики, селекции и биотехнологии, позволяющие повышать продуктивность сельскохозяйственных культур и устойчивость агроэкосистем (Godfray et al., 2010; Tilman et al., 2011; Tester, Langridge, 2010). Для условий Центрального района Нечернозёмной зоны России приоритетными направлениями селекции яровой мягкой пшеницы являются скороспелость, устойчивость к полеганию, грибным болезням и стрессовым факторам среды, а также формирование высокого технологического и хлебопекарного качества зерна (Неттевич, 2000; Сандухадзе, 2010; Ворончихина, 2022; Пыльнев и др., 2024).

Сорт является результатом длительной селекционной работы, включающей подбор исходного материала, гибридизацию, отбор, оценку потомств, испытание в различных условиях среды и последующее внедрение в производство. Обновление сортового состава рассматривается как один из важнейших факторов повышения урожайности и валового сбора зерна. По данным Э.Д. Неттевича, вклад селекции в рост урожайности пшеницы может составлять от 32 до 52 % (Неттевич, 2000; Белан и др., 2019). Значительный прогресс в повышении продуктивности зерновых культур во второй половине XX века был связан с созданием высокопродуктивных короткостебельных сортов, улучшением агротехнологий, применением минеральных удобрений, развитием системы защиты растений и расширением использования генетического разнообразия в селекционном процессе.

Важным направлением селекции остаётся создание генотипов, сочетающих высокую потенциальную продуктивность с устойчивостью к неблагоприятным факторам среды. Для пшеницы особое значение имеют устойчивость к засухе, температурным стрессам, полеганию, а также к основным грибным болезням, включая листовую ржавчину, стеблевую ржавчину, мучнистую росу и септориоз. Не менее важным направлением является селекция на качество зерна, поскольку технологические и хлебопекарные свойства определяют пищевую и хозяйственную ценность сорта. Использование гибридизации, индивидуального и массового отбора, беккроссирования, трансгрессивной селекции, а также

молекулярно-генетических методов позволяет создавать новые генотипы с улучшенным сочетанием хозяйственно ценных признаков. Особое значение имеет вовлечение в селекционный процесс генетически разнообразного исходного материала, включая сорта различного эколого-географического происхождения, селекционные линии, интрогрессивные формы, синтетическую пшеницу и доноры отдельных признаков. Такой подход способствует расширению генетической базы культуры и повышает вероятность получения форм, сочетающих продуктивность, адаптивность и качество зерна.

1.5 Селекция яровой мягкой пшеницы на повышение продуктивности

Селекция яровой мягкой пшеницы на повышение продуктивности является одним из ключевых направлений создания современных сортов, обеспечивающих стабильное производство зерна и продовольственную безопасность. Продуктивность представляет собой сложный комплексный признак, формирование которого определяется генотипом, условиями среды и их взаимодействием. В связи с этим селекционная работа направлена не только на повышение потенциальной урожайности, но и на обеспечение её стабильной реализации в различных почвенно-климатических условиях. Вопрос повышения урожайности тесно связан с понятием идеотипа сорта, под которым понимают совокупность желательных морфологических, физиологических и хозяйственно ценных признаков, обеспечивающих максимальную реализацию генетического потенциала продуктивности и ускорение селекционного прогресса (Kasemsap, Bloom, 2023). Для яровой мягкой пшеницы к таким признакам относятся оптимальная продолжительность вегетационного периода, устойчивость к полеганию, развитый продуктивный стеблестой, высокая озернённость колоса, крупность зерна, устойчивость к болезням и способность эффективно использовать ресурсы среды. В селекции зерновых культур элементы структуры урожая остаются важными критериями оценки и отбора исходного материала. К ним относятся продуктивная кустистость, длина колоса, число колосков и зёрен в

колосе, масса зерна с колоса и масса 1000 зёрен. Эти признаки позволяют оценить вклад отдельных компонентов в формирование урожайности и выделить генотипы с наиболее благоприятным сочетанием продуктивных элементов (Драгавцев, 2003). При этом повышение одного компонента структуры урожая не всегда приводит к увеличению общей продуктивности, поскольку между отдельными признаками могут существовать компенсаторные связи. Например, увеличение крупности зерна может положительно влиять на массу урожая и начальную энергичность роста растений, однако при неблагоприятном сочетании с другими признаками оно не всегда обеспечивает повышение урожайности и может сопровождаться изменением технологических показателей качества зерна (Багавиева, Василова, 2009). Поэтому в селекции яровой мягкой пшеницы важна не изолированная оценка отдельных признаков, а комплексный анализ их сочетания в конкретном генотипе. Современные исследования показывают, что наиболее продуктивные сорта характеризуются сбалансированным развитием основных элементов структуры урожая, что обеспечивает более полную реализацию генетического потенциала продуктивности (Кумаков и др., 1994; Прянишников, 2018). В связи с этим детальная оценка генетических ресурсов яровой мягкой пшеницы по признакам структуры урожая имеет важное значение для выделения ценных источников и доноров продуктивности. Такой подход позволяет повысить эффективность подбора родительских форм и разработать более обоснованные стратегии селекции на урожайность (Икусов и др., 2019). Существенное значение в повышении урожайности имеет обновление сортового состава. По данным ряда авторов, вклад сорта в формирование урожайности сельскохозяйственных культур может составлять от 30 до 70 %, что подчёркивает важную роль селекционной науки в повышении эффективности зернового производства (Сандухадзе, 2010; Журавлева, 2015; Сидоров и др., 2016).

1.5 Продолжительность вегетационного периода

Одним из приоритетных направлений селекции яровой мягкой пшеницы является создание сортов с оптимальной продолжительностью вегетационного периода. Данный признак имеет важное адаптивное значение, поскольку определяет способность растений завершать онтогенез в пределах благоприятного периода вегетации и формировать урожай до наступления неблагоприятных погодных условий. Для Центрального района Нечернозёмной зоны России это направление особенно актуально в связи с изменчивостью температурного режима, неравномерным распределением осадков и повышенным риском развития грибных болезней в период вегетации.

Продолжительность вегетационного периода является одним из основных показателей экологической адаптированности сорта к конкретным почвенно-климатическим условиям. У зерновых культур она обычно определяется как период от появления всходов до полной спелости зерна и включает последовательное прохождение основных фенологических фаз: всходы, кущение, выход в трубку, колошение, цветение, налив и созревание зерна. Н.И. Вавилов (1935) рассматривал вегетационный период как совокупность временных отрезков, необходимых растению для прохождения отдельных стадий развития (Куркова, 2018).

На продолжительность вегетационного периода оказывают влияние как внешние, так и внутренние факторы. К внешним факторам относятся температурный режим, сумма эффективных температур, влагообеспеченность, продолжительность светового дня и особенности агротехники. Внутренние факторы связаны прежде всего с генетической системой регуляции темпов развития растений, включающей гены реакции на яровизацию, фотопериодическую чувствительность и продолжительность отдельных фенологических фаз. В условиях Центрального Нечерноземья скороспелые и среднеспелые сорта яровой мягкой пшеницы имеют важное селекционное значение, поскольку позволяют более эффективно использовать ограниченный период вегетации и снижать риск попадания критических фаз развития под действие неблагоприятных факторов среды. Более короткий период до колошения

и созревания может способствовать уходу растений от позднелетних засух, избыточного увлажнения в период созревания и интенсивного развития ряда грибных болезней. Вместе с тем чрезмерное сокращение вегетационного периода не всегда является положительным признаком, так как может приводить к уменьшению продолжительности формирования ассимиляционного аппарата, налива зерна и, как следствие, снижению продуктивности. Селекция скороспелых сортов сопряжена с определёнными трудностями, поскольку между скороспелостью и урожайностью нередко наблюдается отрицательная связь. В связи с этим одной из важных задач селекции является создание генотипов, сочетающих оптимальные сроки колошения и созревания с высокой продуктивностью и стабильным качеством зерна. Для решения этой задачи необходимо учитывать не только общую продолжительность вегетационного периода, но и длительность отдельных межфазных периодов, поскольку именно их соотношение во многом определяет реализацию продуктивного потенциала растений.

Рост и развитие пшеницы контролируется несколькими генетическими системами. Важную роль играют гены *Vrn*, определяющие реакцию растений на яровизацию, и гены *Ppd*, регулирующие чувствительность к фотопериоду. Дополнительное влияние оказывают гены *Eps* (от англ. *Earliness per se*), связанные с так называемой собственной скороспелостью и продолжительностью отдельных фенологических фаз независимо от реакции на яровизацию и фотопериод. Разнообразие аллельных состояний этих генетических систем позволяет изменять темпы развития растений и адаптировать сорта к конкретным условиям возделывания (Scarth, Law, 1983; Scarth, Law, 1984). Особую ценность для селекции представляют ультраскороспелые и скороспелые формы мягкой пшеницы, характеризующиеся слабой фотопериодической чувствительностью и отсутствием выраженной реакции на яровизацию. Такие формы могут служить источниками генов и аллелей, контролирующих раннее колошение, сокращённую продолжительность межфазных периодов и более быстрое созревание. Ценные источники скороспелости выявлены среди образцов различного эколого-

географического происхождения, включая формы из Средиземноморья, Центральной и Южной Америки, Европейской части России и Сибири (Зуев и др., 2009; Ригин и др., 2015; Ригин и др., 2021).

1.7 Селекция яровой мягкой пшеницы на качество зерна

Современная селекция яровой мягкой пшеницы направлена не только на повышение урожайности и адаптивности сортов, но и на улучшение качества зерна. Данное направление имеет важное значение, поскольку технологические и хлебопекарные свойства зерна определяют его пищевую, хозяйственную и перерабатывающую ценность. В связи с этим создание сортов, сочетающих высокую продуктивность с повышенным содержанием белка, хорошим качеством клейковины и стабильными технологическими показателями, является одной из приоритетных задач селекции пшеницы (Рейтц, 1970; Vitale et al., 2020; Утебаев и др., 2022). Качество зерна является комплексным показателем, формирование которого определяется взаимодействием генотипа, природно-климатических условий и агротехнологии. На проявление признаков качества влияют температурный режим, влагообеспеченность, минеральное питание, тип почвы, фитосанитарное состояние посевов и другие факторы среды (Rozbicki et al., 2014). Поэтому оценка качества зерна должна проводиться с учётом как генетических особенностей сорта, так и условий его возделывания.

Одним из важнейших показателей качества зерна является содержание белка. Этот признак контролируется полигенной системой и зависит от действия как главных, так и минорных локусов (Новосельская-Драгович, 2014). В настоящее время описано значительное число генетических факторов, влияющих на накопление белка в зерне, однако степень их проявления во многом определяется условиями внешней среды (Митрофанова, Хакимова, 2016; Shepelev et al., 2022). При этом между урожайностью и содержанием белка часто наблюдается отрицательная связь, что усложняет создание сортов, одновременно сочетающих высокую продуктивность и высокое качество зерна (Сандухадзе и др., 2006).

Хлебопекарные свойства пшеницы определяются содержанием и качеством белково-клейковинного комплекса, физическими свойствами теста, активностью ферментов, а также рядом других биохимических и технологических показателей. Существенное влияние на формирование качества зерна оказывают условия выращивания, включая уровень минерального питания, количество осадков, температурный режим, тип почвы, поражение болезнями и повреждение вредителями (Kaplin, Sharapova, 2017; Ernst et al., 2018; Walsh et al., 2020). В связи с этим качество зерна следует рассматривать как результат взаимодействия наследственных особенностей сорта и условий среды.

В селекционной практике для оценки качества зерна яровой мягкой пшеницы используют комплекс физических, биохимических и технологических показателей. К наиболее информативным признакам относятся содержание белка, количество и качество клейковины, натурная масса зерна, стекловидность, масса 1000 зёрен, физические свойства теста, объёмный выход хлеба и общая хлебопекарная оценка (Методика государственного сортоиспытания..., 1989). Эти показатели позволяют выделять генотипы, обладающие высокой технологической ценностью и пригодные для использования в селекции на улучшение качества зерна. Особое значение в селекции на качество имеют генетические факторы, контролирующие состав запасных белков зерна, прежде всего высокомолекулярных субъединиц глютеина, кодируемых локусами *Glu-1*. Аллельный состав этих локусов оказывает существенное влияние на силу муки, упругость и эластичность теста, а также на хлебопекарные свойства зерна. Поэтому молекулярно-генетическая и биохимическая идентификация ценных аллельных вариантов *Glu-1* является важным элементом оценки исходного материала яровой мягкой пшеницы (Крупнова, 2013; Хакимова и др., 2019; Утебаев и др., 2022).

1.8 Селекция яровой мягкой пшеницы на устойчивость к полеганию

Устойчивость к полеганию является одним из важных направлений селекции яровой мягкой пшеницы, поскольку данный признак оказывает существенное

влияние на реализацию урожайного потенциала, качество зерна и технологичность уборки. Полегание растений приводит к ухудшению условий фотосинтеза, снижению эффективности налива зерна, увеличению потерь при уборке, развитию грибных болезней и ухудшению качества зерна (Самофалова, 2016; Дьячук и др., 2018). Особенно высок риск полегания при сочетании интенсивного минерального питания, повышенной густоты стеблестоя, избыточного увлажнения, сильных ветров и ливневых осадков (Лихенко, 2008; Медведев и др., 2017). Одним из основных путей повышения устойчивости пшеницы к полеганию является селекция на оптимальную высоту растений и прочность стебля. Важную роль в этом направлении сыграло использование генов короткостебельности *Rht* (*Reduced height*), ограничивающих рост растений и способствующих созданию сортов, более устойчивых к полеганию и пригодных для интенсивных технологий возделывания (Дивашук и др., 2012, Divashuk et al., 2013; Сандухадзе и др., 2021). Однако чрезмерное снижение высоты растений не всегда является положительным признаком, поскольку может сопровождаться уменьшением биомассы, снижением массы 1000 зёрен и ослаблением адаптивности в отдельных условиях среды. Поэтому в селекции яровой мягкой пшеницы важна не максимальная короткостебельность, а оптимальная высота растений, обеспечивающая сочетание устойчивости к полеганию, продуктивности и адаптивности (Черноок, 2019).

В селекции яровой мягкой пшеницы устойчивость к полеганию должна рассматриваться как комплексный признак, включающий высоту растений, прочность и эластичность стебля, продуктивную кустистость, массу колоса, особенности корневой системы и устойчивость растений к неблагоприятным погодным условиям. Поэтому оценка исходного материала только по высоте растений является недостаточной. Наиболее ценными являются генотипы, сочетающие умеренную высоту, прочный стебель, высокую продуктивность и стабильное проявление признаков в различных условиях среды. В отечественной селекции накоплен значительный опыт использования источников короткостебельности и устойчивости к полеганию у пшеницы. При этом для яровой мягкой пшеницы особое значение имеет поиск доноров, обеспечивающих

не только снижение высоты растений, но и сохранение высокой урожайности, крупности зерна и адаптивности к условиям конкретного региона.

1.9 Селекция яровой мягкой пшеницы на устойчивость к грибным болезням

Грибные болезни являются одной из основных угроз для стабильного производства зерна пшеницы, поскольку способны существенно снижать урожайность и ухудшать качество зерна. В годы эпифитотий такие болезни, как листовая (бурая) ржавчина, стеблевая ржавчина, мучнистая роса и септориоз, могут вызывать значительные потери урожая у восприимчивых сортов (Каталог мировой коллекции, 2012; Коваленко и др., 2012). Кроме прямого снижения продуктивности, поражение растений грибными патогенами отрицательно влияет на выполненность зерна, его товарные и технологические показатели (Алфимов и др., 2001; Сухоруков, Сухоруков, 2014).

Одним из важнейших направлений решения данной проблемы является создание сортов яровой мягкой пшеницы с устойчивостью к наиболее вредоносным грибным болезням. Эффективность этого направления селекции во многом определяется качеством и генетическим разнообразием исходного материала, используемого в гибридизации. В Центральном районе Нечернозёмной зоны России особое значение имеет создание сортов, устойчивых к листовой ржавчине, стеблевой ржавчине, мучнистой росе, септориозу и бурым пятнистостям листьев (Лапочкина и др., 2021; Наджодов и др., 2024а; Наджодов и др., 2024б; Наджодов и др., 2024в). Нечернозёмная зона России характеризуется условиями, благоприятными для развития ряда грибных болезней пшеницы, особенно в годы с повышенной влажностью воздуха и умеренными температурами в период вегетации. Наиболее распространёнными и вредоносными заболеваниями являются листовая ржавчина, мучнистая роса и септориоз листьев; в отдельные годы существенную опасность представляет также стеблевая ржавчина. В последние десятилетия отмечается повышение фитосанитарной напряжённости, связанное с изменением климатических условий, расширением ареалов патогенов

и изменчивостью их расового состава. Это требует постоянного обновления источников устойчивости и их вовлечения в селекционный процесс (Афанасенко и др., 2011; Михайлова и др., 2012; Лапочкина и др., 2021).

Особую опасность представляет стеблевая ржавчина, значение которой в последние годы вновь возрастает после длительного периода её ограниченного распространения. Наряду с этим сохраняется высокая вредоносность листовой ржавчины, мучнистой росы и септориоза, которые широко распространены в посевах пшеницы и могут снижать продуктивность растений, особенно у восприимчивых генотипов. В условиях изменения климата возможно также усиление развития листовых пятнистостей, что повышает требования к устойчивости создаваемых сортов (Lekomtseva et al., 2007; Lekomtseva et al., 2008; Zeleneva et al., 2021).

Селекция на устойчивость к грибным болезням должна основываться на использовании источников как специфической, так и неспецифической устойчивости. Наиболее ценными для практической селекции являются генотипы, сочетающие устойчивость к нескольким патогенам одновременно. Такая групповая устойчивость позволяет снизить риск потерь урожая, уменьшить зависимость от химических средств защиты растений и повысить экологическую устойчивость агроценозов. В последние годы особое внимание уделяется поиску и использованию доноров устойчивости среди сортов различного эколого-географического происхождения, интрогрессивных линий, синтетической пшеницы и форм с пшенично-ржаными транслокациями. В частности, транслокации с участием короткого плеча хромосомы ржи 1RS могут нести гены устойчивости к ряду грибных болезней и представляют интерес для селекции яровой мягкой пшеницы. Однако использование таких источников требует комплексной оценки, поскольку наряду с положительным влиянием на устойчивость они могут быть связаны с изменением отдельных показателей качества зерна.

1.10 Селекция яровой мягкой пшеницы на устойчивость к засухе

Производство пшеницы во многих регионах мира находится под воздействием абиотических стрессовых факторов, среди которых одним из наиболее значимых является засуха. Дефицит влаги, как правило, связан с неравномерным распределением осадков, повышением температуры воздуха и изменением гидротермического режима в период вегетации. В условиях глобального изменения климата водный стресс становится одним из факторов, ограничивающих реализацию потенциальной урожайности пшеницы (Karki et al., 2014). Засуха может оказывать отрицательное влияние на растения пшеницы на разных этапах онтогенеза, однако наиболее чувствительными являются фазы кущения, выхода в трубку, цветения, оплодотворения и налива зерна. Водный дефицит в период кущения снижает формирование продуктивных побегов и закладку элементов колоса. Засуха в период цветения и налива зерна приводит к нарушению оплодотворения, сокращению продолжительности налива, уменьшению массы зерна и снижению качества урожая. По данным ряда авторов, потери урожая пшеницы при водном стрессе могут существенно варьировать в зависимости от генотипа, фазы развития растений, продолжительности и интенсивности засухи (Ahmed et al., 2019; Friedli et al., 2019; Шепелев и др., 2023).

Селекция на засухоустойчивость осложняется полигенной природой данного признака и сильной зависимостью его проявления от условий среды. Устойчивость к водному дефициту формируется за счёт комплекса морфологических, физиологических и биохимических механизмов. К ним относятся развитие более мощной и глубокой корневой системы, эффективная регуляция транспирации, поддержание фотосинтетической активности, осмотическая адаптация, накопление осмолитов, а также способность растений сохранять ростовые процессы и формирование генеративных органов в условиях ограниченного влагообеспечения (Hoffmann et al., 2008; Осипова и др., 2022; Helman et al., 2022).

Современные подходы к селекции яровой мягкой пшеницы на устойчивость к засухе включают использование генетически разнообразного исходного материала, фенотипическую оценку в стрессовых условиях, эколого-географические испытания и применение молекулярно-генетических методов. Важное значение

имеют сорта и линии, происходящие из аридных и континентальных регионов, а также дикие сородичи пшеницы и синтетические гексаплоидные формы, которые могут служить источниками новых аллелей, связанных с адаптивностью и устойчивостью к абиотическим стрессам. В мировой селекции пшеницы значительный вклад в изучение и использование источников засухоустойчивости внесли международные селекционные программы CIMMYT и ICARDA. В этих программах активно используются межсортная гибридизация, интрогрессивные формы, синтетическая гексаплоидная пшеница и дикие сородичи, включая *Triticum dicoccoides* и *Aegilops tauschii*. Такой подход позволяет расширять генетическую основу культурной пшеницы и вовлекать в селекцию аллели, связанные с устойчивостью к водному дефициту и другим стрессовым факторам. В России при селекции пшеницы на засухоустойчивость традиционно используется эколого-географический подход, основанный на испытании сортов и линий в контрастных условиях возделывания. Засушливые условия Поволжья, Южного Урала, Западной Сибири и других регионов позволяют выделять генотипы, сочетающие продуктивность, адаптивность и устойчивость к дефициту влаги (Кумаков, 1980; Зыкин и др., 2000; Потоцкая и др., 2019). Для яровой мягкой пшеницы особое значение имеют источники, способные сохранять продуктивность при весенней и летней засухе, поскольку водный стресс в эти периоды может существенно нарушать формирование урожая. В последние годы актуальность селекции на устойчивость к засухе возрастает и для регионов, которые традиционно не относятся к засушливым. Центральный район Нечернозёмной зоны России характеризуется сравнительно достаточным увлажнением, однако в отдельные годы здесь наблюдаются периоды дефицита влаги, особенно в критические фазы развития растений. Это может отрицательно влиять на продолжительность межфазных периодов, формирование элементов структуры урожая, массу 1000 зёрен и качество зерна. Поэтому для условий Центрального района Нечернозёмной зоны важна не только засухоустойчивость в узком смысле, но и общая адаптивность сортов яровой мягкой пшеницы к нестабильному гидротермическому режиму. Перспективным направлением является сочетание традиционных методов

отбора с молекулярно-генетическими подходами, включая маркер-ориентированную селекцию. Использование молекулярных маркеров позволяет выявлять генетические факторы, ассоциированные с эффективным использованием влаги, устойчивостью к водному дефициту и стабильностью продуктивности в стрессовых условиях (Abdelrahman et al., 2024). Однако для практической селекции такие данные должны сочетаться с многолетней полевой оценкой, поскольку проявление засухоустойчивости в значительной степени зависит от взаимодействия генотипа и среды.

1.11 Использование озимых форм в селекции яровой мягкой пшеницы

Использование озимых форм в селекции яровой мягкой пшеницы является одним из подходов к расширению генетического разнообразия исходного материала. Привлечение озимых генотипов в гибридизацию с яровыми формами направлено на повышение продуктивности, устойчивости к полеганию, адаптивности и улучшение комплекса хозяйственно ценных признаков. Данный подход имеет длительную историю и рассматривается как один из способов вовлечения в селекционный процесс генетически отдалённого материала, сформировавшегося в иных экологических условиях (Вавилов, 1935; Pinthus, 1967; Мамонтова и др., 1969). Эффективность использования озимых форм в селекции яровой пшеницы во многом определяется почвенно-климатическими условиями региона, типом развития родительских форм, их генетическим происхождением и направлением отбора в гибридных поколениях. Скрещивания яровых и озимых форм позволяют получать рекомбинантные популяции с широким спектром изменчивости по продуктивности, продолжительности вегетационного периода, высоте растений, устойчивости к полеганию и другим признакам. Перспективность такого подхода объясняется тем, что сходные хозяйственно ценные признаки у яровых и озимых форм могут контролироваться разными генетическими системами, что повышает вероятность появления ценных рекомбинантов в потомстве (Рутц, 1981; Рутц, 1993; Стасюк и др., 2021). Одним из ведущих научных

учреждений, где проводится селекция сортов яровой и озимой пшеницы, адаптированных к условиям Центрального района Нечернозёмной зоны России, является ФИЦ «Немчиновка». В селекционных программах данного учреждения озимые формы используются как источники высокой продуктивности, устойчивости к полеганию, короткостебельности и адаптивности. Систематическое использование озимых форм в скрещиваниях с яровой пшеницей было начато в 1962 г. под руководством академика РАСХН Э.Д. Неттевича и продолжается в современных селекционных программах (Неттевич и др., 1972; Давыдова, 2011; Давыдова и др., 2016). Скрещивание яровых и озимых форм подтверждается как отечественной, так и зарубежной практикой селекции. Ещё Н.И. Вавилов отмечал возможность повышения продуктивности яровых сортов за счёт использования озимых форм в гибридизации, обращая внимание на перспективность анализа родословных и вовлечения генетически разнообразного материала (Вавилов, 1935; Davydova et al., 1996). В результате такого подхода были созданы сорта яровой мягкой пшеницы, сочетающие высокую продуктивность, устойчивость к полеганию и адаптивность к условиям возделывания. В отечественной селекции примерами использования озимого компонента в создании сортов яровой мягкой пшеницы являются сорта селекции ФИЦ «Немчиновка» Лада, Эстер, Любава и другие, а также сорта, созданные в других селекционных центрах. В ряде случаев озимые формы выступали донорами признаков, связанных с продуктивностью, устойчивостью к полеганию и адаптивностью к неблагоприятным условиям среды (Давыдова и др., 2013).

1.12 Маркер-ориентированная селекция (MAS)

Маркер-ориентированная селекция (Marker-Assisted Selection, MAS) основана на использовании молекулярных маркеров, связанных с генами или локусами количественных признаков, контролирующими хозяйственно ценные признаки растений. Применение молекулярных маркеров позволяет проводить целенаправленный отбор генотипов по наличию целевых аллелей уже на ранних

этапах развития растений, что повышает точность отбора, сокращает продолжительность селекционного цикла и повышает эффективность использования генетического разнообразия исходного материала (Collard, Mackill, 2008; Хлесткина и др., 2016; Шепелев и др., 2023).

В отличие от традиционной селекции, основанной преимущественно на фенотипической оценке, MAS позволяет выявлять носителей целевых генов независимо от стадии развития растения и без обязательного ожидания полного проявления признака в полевых условиях. Это особенно важно для признаков, проявление которых зависит от погодных условий, инфекционного фона, фазы развития растений и взаимодействия генотипа со средой. Вместе с тем маркер-ориентированная селекция не заменяет полевую оценку, а дополняет её, обеспечивая более точный подбор исходного материала и контроль наследования целевых аллелей в гибридных популяциях. Одним из важных преимуществ MAS является возможность пирамидирования нескольких благоприятных генов или QTL в одном генотипе. Такой подход имеет особое значение при создании сортов с комплексной устойчивостью к болезням, устойчивостью к полеганию, адаптивностью к условиям конкретного региона и улучшенным качеством зерна (Xu, Crouch, 2008; Zhang et al., 2021). Для яровой мягкой пшеницы маркер-ориентированная селекция имеет большое значение, поскольку позволяет сочетать отбор по продуктивности, продолжительности вегетационного периода, устойчивости к грибным болезням, устойчивости к полеганию и качеству зерна. В последние годы молекулярные маркеры широко применяются для идентификации аллельного состояния генов *Vrn-1*, связанных с реакцией на яровизацию, генов *Ppd-1*, определяющих фотопериодическую чувствительность, генов короткостебельности *Rht-B1* и *Rht-D1*, а также маркеров, ассоциированных с локусом *Rht8*. Кроме того, важное значение имеет идентификация глутенин-кодирующих локусов *Glu-1* и *Glu-3*, влияющих на технологические и хлебопекарные свойства зерна (Payne, 1987; Shewry et al., 2003; Beales et al., 2007). Особую роль молекулярные маркеры играют при отборе генотипов, устойчивых к грибным болезням пшеницы. Для селекции яровой мягкой пшеницы актуальна

идентификация генетических факторов, связанных с устойчивостью к листовой ржавчине, стеблевой ржавчине, мучнистой росе и другим патогенам. В этом отношении большое значение имеют как гены специфической устойчивости, так и интрогрессивные компоненты, включая пшенично-ржаные транслокации с участием короткого плеча хромосомы ржи 1RS, которые могут нести гены устойчивости к ряду грибных болезней.

1.13 Распространение пшенично-ржаных транслокаций 1RS в селекции яровой мягкой пшеницы

Одним из эффективных путей расширения генетического разнообразия мягкой пшеницы является интрогрессия генетического материала от родственных видов. Использование интрогрессивных форм позволяет привлекать новые гены и аллели, связанные с устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессовым факторам, адаптивностью и продуктивностью (McIntosh et al., 2008; Мощный и др., 2012). В связи с ограниченностью генетического разнообразия культурной мягкой пшеницы особое значение имеет поиск доноров устойчивости среди родственных видов, включая рожь (*Secale cereale* L.) (Rabinovich, 1998; Rahmatov et al., 2016).

Рожь является ценным источником генов устойчивости к болезням и неблагоприятным факторам среды. Среди интрогрессий ржаного происхождения наибольшее распространение в селекции мягкой пшеницы получили пшенично-ржаные транслокации с участием короткого плеча хромосомы 1R ржи 1RS. Наиболее известными являются транслокации 1BL.1RS и 1AL.1RS, при которых короткое плечо ржаной хромосомы 1R замещает участки хромосом пшеницы. Эти транслокации получили широкое распространение благодаря положительному влиянию на устойчивость к ряду болезней, адаптивность и продуктивность растений (Karki et al., 2014; Фисенко и др., 2023; Наджодов и др., 2025).

Исторически одним из наиболее известных источников транслокации 1BL.1RS стала линия Neuzucht 14/14, происходящая от ржи сорта Petkus. На её основе были созданы сорта Кавказ и Аврора, полученные под руководством П.П. Лукьяненко и широко использованные в селекционных программах. Эти сорта

характеризовались повышенной продуктивностью и устойчивостью к ряду болезней, что способствовало активному распространению транслокации 1BL.1RS в мировом генофонде мягкой пшеницы (Дорофеев и др., 1976; Zeller, 1973).

Широкое использование транслокации 1RS объясняется наличием на коротком плече хромосомы 1R ржи кластера генов устойчивости. В этот участок входят гены, связанные с устойчивостью к листовой ржавчине (*Lr26*), стеблевой ржавчине (*Sr31*), мучнистой росе (*Pm8*) и жёлтой ржавчине (*Yr9*). Кроме того, для ржаного сегмента 1RS описаны гены и локусы, ассоциированные с устойчивостью к отдельным вредителям и вирусным заболеваниям. Благодаря этому транслокация 1RS длительное время рассматривалась как ценный источник комплексной устойчивости в селекции мягкой пшеницы (Herrera et al., 2017; Korobkova et al., 2023).

Вместе с тем эффективность отдельных генов устойчивости, локализованных на сегменте 1RS, может снижаться вследствие появления вирулентных рас патогенов. В ряде регионов мира отмечено снижение эффективности генов *Lr26*, *Sr31*, *Pm8* и *Yr9*, что связано с изменчивостью популяций возбудителей ржавчин и мучнистой росы. Поэтому использование транслокаций 1RS должно сочетаться с поиском новых источников устойчивости и пирамидированием нескольких генов в одном генотипе (Korobkova et al., 2023).

Наряду с транслокацией 1BL.1RS в селекции мягкой пшеницы используется транслокация 1AL.1RS. Одним из известных её источников является сорт Amigo, созданный в США с участием ржи Insave FA. Транслокация 1AL.1RS также представляет интерес как источник устойчивости к биотическим стрессам и может использоваться для расширения генетического разнообразия исходного материала. По данным ряда исследований, формы с транслокацией 1AL.1RS встречаются реже, чем носители 1BL.1RS, однако они имеют важное значение для селекции устойчивых и адаптивных сортов (Blüthner et al., 1973; Korobkova et al., 2023).

Несмотря на положительное влияние пшенично-ржаных транслокаций 1RS на устойчивость и адаптивность, их использование в селекции требует комплексной оценки. Одним из наиболее обсуждаемых вопросов является возможное

отрицательное влияние ржаного сегмента 1RS на хлебопекарные свойства зерна, связанное с изменением белкового комплекса и качества клейковины. В связи с этим при вовлечении носителей 1BL.1RS и 1AL.1RS в селекционный процесс необходимо учитывать не только устойчивость к болезням, но и показатели качества зерна (Lee et al., 1995; Kumlay et al., 2003; Чуманова и др., 2014).

В селекции яровой мягкой пшеницы транслокации 1RS имеют особое значение как источники устойчивости к грибным болезням и адаптивности к неблагоприятным условиям среды. Их использование позволяет расширять генетическую основу исходного материала и создавать формы, сочетающие устойчивость к листовой ржавчине, стеблевой ржавчине и мучнистой росе с высокой продуктивностью. Вместе с тем для яровой мягкой пшеницы особенно важно выявлять генотипы, у которых положительное влияние транслокаций 1RS на устойчивость не сопровождается существенным ухудшением качества зерна.

1.14 Гены короткостебельности *Rht*

Гены короткостебельности пшеницы *Rht* (Reduced height) играют важную роль в селекции сортов, устойчивых к полеганию и пригодных для интенсивных технологий возделывания. Использование аллелей *Rht-B1b* (= *Rht1*) и *Rht-D1b* (= *Rht2*) стало одним из ключевых факторов «зелёной революции» 1960–1970-х гг. и способствовало созданию высокопродуктивных полукарликовых сортов мягкой пшеницы с повышенной устойчивостью к полеганию и более эффективным перераспределением ассимилятов в пользу зерна (Peng et al., 1999). Указанные аллели происходят от японского сорта Norin 10 и получили широкое распространение в мировой селекции пшеницы (Hedden, 2003). Аллели *Rht-B1b* и *Rht-D1b* относятся к гиббереллин-нечувствительным факторам короткостебельности. Их действие связано с изменениями в генах, кодирующих DELLA-белки – регуляторы гиббереллинового сигнального пути. В результате снижается чувствительность растений к гиббереллинам, что приводит к уменьшению высоты стебля и повышению устойчивости к полеганию (Smekunov

et al., 2020; Porotnikov et al., 2022). Вместе с тем эффект этих аллелей зависит от генетического фона сорта и условий выращивания.

В настоящее время у пшеницы описано 29 генов и аллелей короткостебельности, однако наибольшее практическое значение в селекции мягкой пшеницы сохраняют *Rht-B1b*, *Rht-D1b* и локус *Rht8* (Zhang et al., 2021; Черноок, 2023; Deng et al., 2026). Наряду с положительным влиянием на устойчивость к полеганию, аллели *Rht* могут оказывать плеiotропное действие на морфологические и физиологические признаки растений. В частности, аллели генов *Rht-B1b* и *Rht-D1b* в отдельных генетических фонах могут быть связаны с уменьшением длины coleoptиля, снижением массы 1000 зёрен, изменением эффективности использования азота, содержания белка и устойчивости растений к водному дефициту, что необходимо учитывать при их использовании в селекции яровой мягкой пшеницы (Casebow et al., 2016; Jatayev et al., 2020; Porotnikov et al., 2022). Особое значение для селекции яровой мягкой пшеницы представляет локус *Rht8*, расположенный на хромосоме 2DS. В отличие от *Rht-B1b* и *Rht-D1b*, он относится к гиббереллин-чувствительным факторам короткостебельности и обеспечивает умеренное снижение высоты растений без резкого подавления роста. Поэтому *Rht8* рассматривается как перспективный источник оптимальной высоты растений, устойчивости к полеганию и адаптивности, особенно в условиях, где чрезмерное укорочение стебля может отрицательно влиять на продуктивность (Worland, Law, 1986; Korzun et al., 1998; Файт и др., 2007). Наиболее изученным является аллель *Rht8c*, который ассоциирован с умеренным снижением высоты растений, повышением устойчивости к полеганию, сохранением длины coleoptиля и лучшей адаптацией к условиям недостаточного увлажнения (Röder et al., 1998; Ellis et al., 2002; Sukhikh et al., 2021). Для идентификации аллельного состояния локуса *Rht8* широко используется микросателлитный маркер WMS261, что позволяет применять его в маркер-ориентированной селекции и при оценке исходного материала (Чеботарь и др., 2001a; Чеботарь и др., 2001b). В последние годы продолжается изучение новых генов и аллелей короткостебельности, включая *Rht28*, *Rht29* и другие генетические факторы, способные обеспечивать снижение

высоты растений без существенного отрицательного влияния на продуктивность и адаптивность. Поиск таких источников особенно актуален для создания сортов яровой мягкой пшеницы, сочетающих оптимальную высоту растений, устойчивость к полеганию, высокую урожайность и стабильность проявления хозяйственно ценных признаков.

1.15 Гены фотопериодической чувствительности *Ppd-1*

Продолжительность вегетационного периода и сроки прохождения фенологических фаз являются важными биологическими признаками, определяющими адаптивность и хозяйственную ценность сортов яровой мягкой пшеницы. По мнению Н.И. Вавилова, продолжительность вегетационного периода является одним из механизмов приспособления растений к условиям среды (Вавилов, 1935). Для зерновых культур особое значение имеет период «всходы–колошение», поскольку он характеризует скорость перехода растений к генеративному развитию и сравнительно легко учитывается в полевых условиях (Вавилов, 1935; Лихенко и др., 2014).

Сроки колошения и созревания пшеницы контролируются несколькими генетическими системами. К основным из них относятся гены реакции на яровизацию *Vrn* (vernalization), гены фотопериодической чувствительности *Ppd* (Photoperiod response) и гены собственной скороспелости *Eps* (earliness per se), регулирующие темпы развития растений независимо от реакции на яровизацию и длины дня (Worland, 1996). Среди этих систем важное значение имеют гены *Ppd-1*, определяющие реакцию растений пшеницы на продолжительность светового дня.

У мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L., $2n = 42$, BBAADD) фотопериодическая реакция контролируется тремя гомеологичными локусами: *Ppd-A1*, *Ppd-B1* и *Ppd-D1*, расположенными на хромосомах второй гомеологичной группы. Гены *Ppd-1* являются ортологами гена *Ppd-H1* ячменя (*Hordeum vulgare* L.) и относятся к семейству псевдорегуляторов ответа PRR, участвующих в регуляции цветения у злаков (Turner et al., 2005; Beales et al., 2007). По силе влияния на

фотопериодическую реакцию локусы *Ppd-1* обычно располагаются в следующем порядке: *Ppd-D1* > *Ppd-B1* > *Ppd-A1*. Вместе с тем в отдельных генетических фонах влияние аллелей *Ppd-B1* может быть сопоставимо с эффектом *Ppd-D1* (Scarth, Law, 1984; Worland et al., 1998; Nishida et al., 2013). Наиболее изученным является locus *Ppd-D1*, аллельное состояние которого существенно влияет на сроки колошения и адаптивность сортов пшеницы. Доминантный аллель *Ppd-D1a* обуславливает фотопериодическую нечувствительность, благодаря чему растения способны переходить к колошению при различной продолжительности светового дня. Это может способствовать сокращению периода до колошения и более раннему созреванию, что особенно важно для регионов с ограниченным периодом вегетации. Рецессивный аллель *Ppd-D1b*, напротив, связан с фотопериодической чувствительностью и может замедлять переход к цветению при коротком дне (Beales et al., 2007; Лихенко и др., 2014).

Фотопериодически нечувствительные формы имеют важное значение для селекции пшеницы, поскольку позволяют создавать сорта с более ранними и стабильными сроками колошения и созревания. Такие генотипы могут быть особенно ценными в условиях короткого вегетационного периода, нестабильного температурного режима и риска неблагоприятных погодных условий в период налива и созревания зерна. Вместе с тем фотопериодически чувствительные сорта также могут иметь селекционную ценность, поскольку в определённых агроэкологических условиях они способны более полно использовать ресурсы среды и формировать высокий урожай. Разработка диагностических молекулярных маркеров для локусов *Ppd-1* существенно повысила эффективность селекции пшеницы по признакам адаптивности и продолжительности вегетационного периода. Использование таких маркеров позволяет выявлять носителей целевых аллелей *Ppd-A1* и *Ppd-D1* на ранних этапах селекционного процесса и более обоснованно подбирать родительские формы для гибридизации. Особенно важным является изучение связи аллельного состояния *Ppd-1* с продолжительностью межфазных периодов, урожайностью и качеством зерна в конкретных условиях возделывания.

1.16 Гены реакции на яровизацию *Vrn-1*

Адаптация пшеницы к различным природно-климатическим условиям во многом определяется генетическими системами, регулируемыми сроки перехода растений к генеративному развитию. Одной из важнейших таких систем является реакция на яровизацию – способность растений переходить к колошению и цветению после воздействия пониженных температур. Данный механизм имеет ключевое значение для формирования озимого и ярового типа развития, а также для адаптации сортов к условиям конкретного региона возделывания (Loukoianov et al., 2005). У озимых форм пшеницы потребность в яровизации предотвращает преждевременный переход к генеративному развитию до наступления благоприятных условий весенне-летнего периода. У яровых форм такая потребность отсутствует или существенно снижена, что позволяет растениям завершать полный цикл развития при весеннем посеве. Поэтому аллельное состояние генов реакции на яровизацию имеет важное значение для селекции яровой мягкой пшеницы, особенно при создании сортов с оптимальной продолжительностью вегетационного периода и адаптивностью к условиям ограниченного вегетационного сезона.

Основным генетическим фактором, определяющим различия в потребности растений пшеницы в яровизации, является система генов *Vrn-1*. У мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L., 2n = 42, AABBDD) она представлена тремя гомеологичными локусами: *Vrn-A1*, *Vrn-B1* и *Vrn-D1*, расположенными соответственно на хромосомах 5A, 5B и 5D. Доминантные аллели *Vrn-A1*, *Vrn-B1* и *Vrn-D1* обуславливают яровой тип развития, тогда как рецессивные аллели *vrn-A1*, *vrn-B1* и *vrn-D1* связаны с потребностью в яровизации и характерны для озимых форм (Stelmakh, 1987; McIntosh et al., 2003). Молекулярной основой перехода от озимого к яровому типу развития являются мутации в регуляторных областях генов *Vrn-1*, прежде всего в промоторной области и первом интроне. Такие изменения приводят к нарушению репрессии гена и обеспечивают его экспрессию без длительного воздействия низких температур. В результате растения с доминантными аллелями

Vrn-1 способны переходить к колошению и цветению в условиях весеннего посева, что имеет большое значение для селекции яровой мягкой пшеницы (Yan et al., 2004; Distelfeld et al., 2009). Аллельные комбинации локусов *Vrn-A1*, *Vrn-B1* и *Vrn-D1* оказывают влияние на сроки колошения, продолжительность межфазных периодов и общую продолжительность вегетационного периода. Наиболее сильный эффект, как правило, связан с локусом *Vrn-A1*, тогда как влияние *Vrn-B1* и *Vrn-D1* может зависеть от генетического фона сорта и сочетания с другими генами развития. Поэтому изучение аллельного состояния системы *Vrn-1* позволяет более точно оценивать генетические причины различий между сортами по темпам развития и срокам наступления фенологических фаз. (Yan et al., 2006; Kippes et al., 2014). Гены *Vrn-1* тесно взаимодействуют с другими генетическими системами, регулирующими развитие пшеницы, прежде всего с генами фотопериодической чувствительности *Ppd-1* и генами собственной скороспелости *Eps*. Совместное действие этих систем определяет сроки колошения, продолжительность отдельных фаз онтогенеза и адаптивность сорта к условиям выращивания. В связи с этим для селекции яровой мягкой пшеницы важно учитывать не только наличие доминантных или рецессивных аллелей *Vrn-1*, но и их сочетание с аллелями *Ppd-1* и другими факторами, влияющими на скорость развития растений. Белки, кодируемые генами *Vrn-1*, участвуют в регуляции перехода меристемы от вегетативного к генеративному состоянию и тем самым влияют на формирование колоса, сроки цветения и потенциальную продуктивность растений. Изменения в системе *Vrn-1* могут отражаться на продолжительности периода «всходы–колошение», сроках созревания, структуре урожая и адаптивности генотипов к конкретным условиям среды (Li et al., 2019; Debernardi et al., 2019).

1.17 Высокомолекулярных глютеинин-кодирующих локусов *Glu-1*

Пшеница занимает особое место среди зерновых культур благодаря способности формировать в зерне клейковинные белки, определяющие технологические и хлебопекарные свойства муки. Основными компонентами

клеяковинного комплекса являются глиадины и глюteniны. Глиадины преимущественно обеспечивают вязкость и растяжимость теста, тогда как глюteniны определяют его упругость, эластичность и прочность (Фетюхин, Баранов, 2019). Глюteniны подразделяются на две основные группы: высокомолекулярные субъединицы глютеина (ВМСГ; англ. HMW-GS) и низкомолекулярные субъединицы глютеина (НМСГ; англ. LMW-GS), различающиеся по молекулярной массе, структуре и функциональному влиянию на свойства теста (Shewry et al., 1992). Среди них особое значение имеют ВМСГ, которые являются запасными белками эндосперма и играют ключевую роль в формировании структуры клейковины. Синтез ВМСГ контролируется локусами *Glu-A1*, *Glu-B1* и *Glu-D1*, расположенными на длинных плечах хромосом 1A, 1B и 1D соответственно (Gianibelli et al., 2001). Полиморфизм этих локусов тесно связан с технологическими свойствами муки и реологическими характеристиками теста. Высокомолекулярные субъединицы глютеина участвуют в формировании макромолекулярных белковых комплексов за счёт дисульфидных связей, что определяет прочность, упругость и эластичность теста (Payne, 1987; Метакровский, 2015). Каждый из локусов *Glu-A1*, *Glu-B1* и *Glu-D1* представлен несколькими аллельными вариантами, определяющими состав субъединиц глютеина. Для локуса *Glu-D1* характерно кодирование двух субъединиц – х- и у-типа, которые наследуются совместно. Для локуса *Glu-A1*, а также для некоторых аллельных вариантов *Glu-B1*, может быть характерна экспрессия одной субъединицы. Несмотря на относительно ограниченный полиморфизм ВМСГ, различия в их составе существенно влияют на хлебопекарные свойства зерна (Payne, Lawrence, 1983; Payne, 1987; Shewry et al., 2003).

Наиболее благоприятное влияние на технологические свойства зерна оказывают аллели *Glu-D1d*, кодирующий субъединицы 5+10, *Glu-A1a*, кодирующий субъединицу 1, и *Glu-B1b*, кодирующий субъединицы 7+8. Эти аллели ассоциированы с повышенной силой муки, лучшими реологическими свойствами теста и более высокими хлебопекарными показателями. Напротив, аллель *Glu-D1a*, кодирующий субъединицы 2+12, и нулевой аллель *Glu-A1c*

обычно характеризуются менее благоприятным влиянием на качество зерна (Payne et al., 1987). Для локуса *Glu-A1* наиболее распространены аллели *Glu-A1a*, *Glu-A1b* и *Glu-A1c*, кодирующие соответственно субъединицу 1, субъединицу 2 и отсутствие экспрессии субъединицы, обозначаемое как нулевой аллель. Аллели *Glu-A1a* и *Glu-A1b*, как правило, ассоциированы с более высокими хлебопекарными свойствами, тогда как *Glu-A1c* связан с пониженной прочностью теста (Tabiki et al., 2006; Anjum et al., 2007). В современных коллекциях мягкой пшеницы нулевой аллель *Glu-A1c* встречается достаточно часто, что может ограничивать генетическое разнообразие по данному локусу (Vazquez et al., 2012; Zhao et al., 2020; Galimova et al., 2023). Локус *Glu-B1* характеризуется высоким уровнем аллельного полиморфизма и играет важную роль в формировании качества клейковины. Аллели *Glu-B1b*, *Glu-B1a1*, *Glu-B1f* и *Glu-B1i*, кодирующие соответственно субъединицы 7+8, 7^{OE}+8, 13+16 и 17+18, рассматриваются как благоприятные для технологических свойств зерна и теста (Roncallo et al., 2021; Kroupin et al., 2023; Al-Khayri et al., 2023). В то же время отдельные аллельные варианты, например *Glu-B1c* и *Glu-B1d*, кодирующие субъединицы 7+9 и 6+8, могут быть связаны с менее благоприятными показателями прочности клейковины (Tabbitta et al., 2024).

Локус *Glu-D1* считается одним из ключевых генетических факторов, определяющих хлебопекарное качество мягкой пшеницы. В большинстве современных сортов наиболее часто встречаются два аллеля: *Glu-D1a*, кодирующий субъединицы 2+12, и *Glu-D1d*, кодирующий субъединицы 5+10. Аллель *Glu-D1d* устойчиво ассоциирован с более высокими показателями силы муки и улучшенными реологическими свойствами теста. Ограниченное аллельное разнообразие локуса *Glu-D1* у мягкой пшеницы повышает интерес к дикому виду *Aegilops tauschii*, который рассматривается как ценный источник новых вариантов D-генома для улучшения качества зерна. Изучение вариативности локуса *Glu-D1* у *Aegilops tauschii* проводится преимущественно с использованием электрофоретического анализа запасных белков методом SDS-PAGE. По результатам таких исследований описано значительное число аллельных вариантов

данного локуса. Вместе с тем разрешающая способность SDS-PAGE не всегда позволяет точно различать отдельные варианты, поскольку некоторые субъединицы могут иметь сходную электрофоретическую подвижность с типичными субъединицами 2+12 и 5+10. Внедрение метода электрофореза в полиакриламидном геле в присутствии додецилсульфата натрия (SDS-PAGE) стало важным этапом в изучении запасных белков пшеницы и их связи с качеством зерна. Этот метод позволил идентифицировать аллельные варианты ВМСГ на основе их электрофоретической подвижности и установить связь между белковым составом зерна, технологическими свойствами муки и хлебопекарными показателями (Payne et al., 1979; Kiszonas, Morris, 2018; Tabbita et al., 2024).

ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛ, МЕТОДИКА И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

2.1 Растительный материал для исследования

Материалом для исследования послужили 43 образца яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) из коллекции кафедры генетики, селекции и семеноводства РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева. В исследуемый материал вошли 21 сорт, внесённый в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации, две новые селекционные линии Л-57 и Золушка из Всероссийского научно-исследовательского института зернобобовых и крупяных культур (ФГБНУ ФНЦ ЗБК), а также 20 линий, полученных из Международного центра улучшения кукурузы и пшеницы (CIMMYT, Мексика). Для удобства анализа и интерпретации результатов изученные образцы были разделены на две группы: зарегистрированные сорта яровой мягкой пшеницы и селекционные линии CIMMYT. Все образцы изучались в рамках единого полевого опыта, а сорт Злата использовался в качестве общего стандарта (табл. 2.1).

Ареал происхождения исследуемого материала охватывает Францию, Германию, Чехию, Польшу, Беларусь, Россию и материалы из CIMMYT. В качестве стандарта использовали среднеранний сорт Злата селекции ФИЦ «Немчиновка». (табл. 2.1). Также в ходе работы был проведён биоинформатический анализ по поиску генов устойчивости и ряда других генов, направленный на поиск и установление точных родословных изучаемых образцов яровой мягкой пшеницы. Для этого использовали две специализированные базы данных: Паспортную базу данных генетических ресурсов растений Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (Plant Genetic Resources Database, VIR) и международную информационную систему генетических ресурсов пшеницы и тритикале GRIS (Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale, wheatpedigree.net). Подробная информация о происхождении гибридных комбинаций и принадлежности исследованных сортов и линий представлена в Приложении А.1.

Таблица 2.1 – Перечень сортов и линий яровой мягкой пшеницы, включённых в исследование

№п/п	Сорт/линия	Происхождение/оригинатор
Сорта яровой мягкой пшеницы		
1	Злата (st)	ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка», ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ»
2	Агата	
3	Саратовская 74	ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока»
4	Фаворит	
5	Л-57	ФГБНУ ФНЦ «Зернобобовых и крупяных культур»
6	Золушка	
7	Тулайковская 108	ФГБУН «СФИИЦ РАН», ФАНЦ «Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого»
8	Симбирцит	ФГБУН «СФИИЦ РАН», ФГУП «Колос»
9	Тюменская 29	ФГБУН «ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН»
10	Обская 2	ФГБНУ ФИЦ «Институт цитологии и генетики СО РАН»
11	Тобольская	ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр Агробиотехнологий»
12	Алтайская Жница	
13	Маргарита	ФГБУН «Самарский ФИИЦ РАН», АО «Приволжское»
14	Учитель	ФГБНУ «ФНЦ Биологических систем и агротехнологий РАН»
15	Гранова	ООО «АСТ Курск»
16	Гранни	«SAATBAU LINZ EGEN» (Австрия)
17	Тризо	DEUTSCHE SAATVEREDELUNG AG (DSV), Германия
18	Ирень	ФГБНУ «Уральский ФАНИЦ РАН»
19	Ласка	РУП ННЦ НАН «Беларуси по земледелию» (Беларусь)
20	Бомбона	Селекционно-семеноводческая фирма «Danko hodowla roslin» (Польша)
21	Арабелла	
22	Мандарина	
23	Канюк	«Secobra Recherches S.A.S» (Франция)
Линии яровой мягкой пшеницы селекции CIMMYT		
24	Линия №23	CIMMYT
25	Линия №35	CIMMYT
26	Линия №59	CIMMYT
27	Линия №65	CIMMYT
28	Линия №66	CIMMYT
29	Линия №67	CIMMYT
30	Линия №70	CIMMYT
31	Линия №79	CIMMYT
32	Линия №147	CIMMYT
33	Линия №150	CIMMYT
34	Линия №151	CIMMYT
35	Линия №152	CIMMYT
36	Линия №153	CIMMYT
37	Линия №178	CIMMYT
38	Линия №187	CIMMYT
39	Линия №215	CIMMYT
40	Линия №217	CIMMYT
41	Линия №220	CIMMYT
42	Линия №221	CIMMYT
43	Линия №223	CIMMYT

2.2 Методы исследований

2.2.1 Посев и агротехника

Полевые исследования проводили в 2022–2024 гг. на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, расположенной в г. Москве (55°50'14" с. ш., 37°33'11" в. д.; высота над уровнем моря – 160 м). Лабораторные анализы зерна и оценку хлебопекарных качеств проводили на кафедре генетики, селекции и семеноводства. Молекулярно-генетический анализ выполняли во Всероссийском научно-исследовательском институте сельскохозяйственной биотехнологии (ФГБНУ ВНИИСБ).

При выращивании растений применяли агротехнику, общепринятую для Центрального района Нечернозёмной зоны России. Площадь делянки составляла 1 м², повторность – трёхкратная, схема размещения делянок – систематическая (Доспехов, 1985; Приложение А.2). Посев осуществляли с использованием кассетной селекционной сеялки СКС-6. Уборку проводили вручную, обмолот – на пучково-сноповой молотилке МПСУ-500.

2.3 Метеорологические условия в годы проведения эксперимента

Метеорологические данные были предоставлены Метеорологической обсерваторией имени В.А. Михельсона РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Гидротермический коэффициент (ГТК) определяли по методике Г.Т. Селянинова (1928) по формуле:

$$\text{ГТК} = \frac{10 \cdot \Sigma P}{\Sigma T}$$

где ΣP – сумма осадков (мм), ΣT – сумма среднесуточных температур (°C) за период $T \geq 10^\circ\text{C}$.

Расшифровка значений ГТК осуществлялась следующим образом: значения свыше 1,6 указывают на зоны избыточного увлажнения; диапазон 1,6–1,3 соответствует лесной влажной зоне; 1,3–1,0 – лесостепной зоне с недостаточным увлажнением; 1,0–0,7 – степной, засушливой зоне; 0,7–0,4 – сухой степи,

характеризующейся крайне засушливыми условиями; менее 0,4 – полупустынным и пустынным регионам (Селянинов, 1928; Чирков, 1986).

В 2022 году посев был проведен в оптимальные сроки 5 мая. Период от посева до появления всходов характеризовался удовлетворительными условиями влагообеспеченности при пониженной сумме активных температур (ГТК 1,6). Наиболее благоприятные для формирования вегетативной массы условия сложились в межфазный период от всходов до колошения. В период от всходов до колошения уровень увлажнения (ГТК = 2,0) в сочетании со значительной суммой активных температур (527 °С) создали оптимальные условия для интенсивного роста и развития растений яровой пшеницы. Третья фаза характеризовалась снижением влагообеспеченности в период от колошения до полной спелости, влияющим на продуктивность и качество зерна характеризовалась снижением влагообеспеченности (ГТК = 1,3). В целом вегетация проходила при благоприятных условиях увлажнения и повышенных температурах воздуха (рис. 2.3; Приложение Б.1).

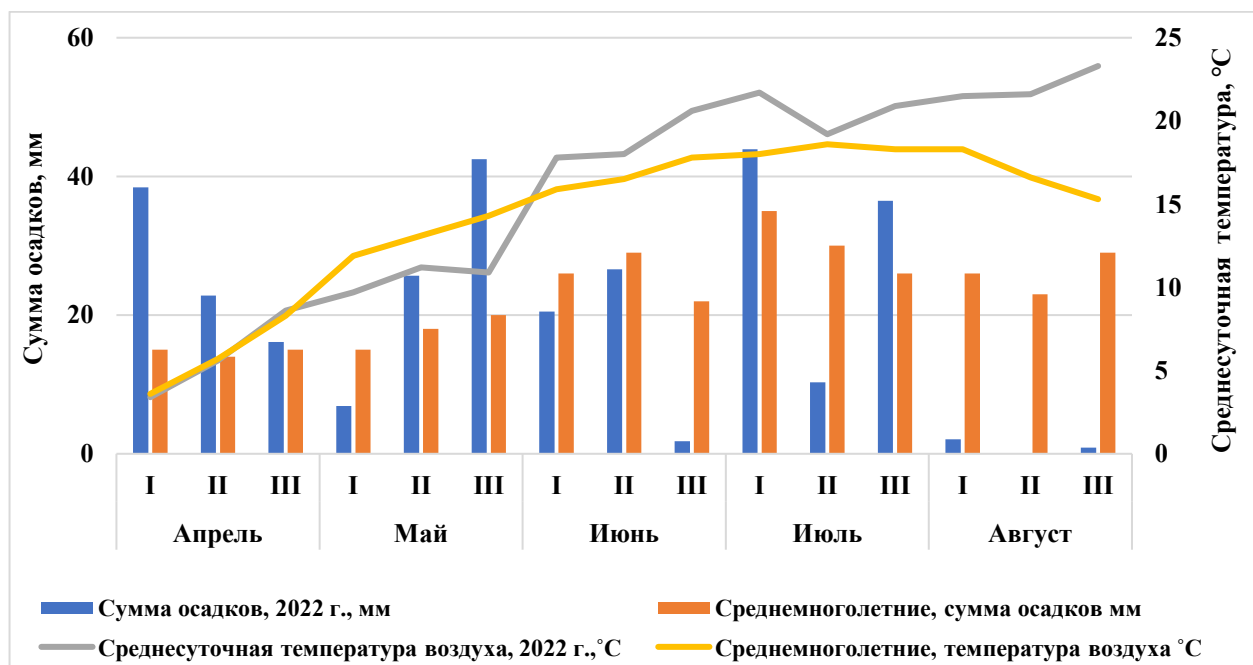


Рисунок 2.3 – Среднесуточная температура воздуха и сумма осадков в период вегетации яровой пшеницы в 2022 г. по данным Метеорологической обсерватории им. В.А. Михельсона РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева

В 2023 году посев был осуществлен 22 апреля, всходы появились 2 мая. В начале фаза (посев–всходы) характеризовалась чрезмерным увлажнением (ГТК = 3,8), что указывает на сильный избыток влаги. Условия теплообеспеченности и увлажнения способствовали быстрому и дружному появлению всходов. Однако дальнейшая вегетация (всходы–колошение) протекала в условиях сильной засухи и резкого дефицита осадков (ГТК = 0,7), которые повлияли на формирование вегетативной массы растений яровой пшеницы. Последующий период (колошение – полная спелость), характеризовался достаточной влагообеспеченностью при повышенной сумме осадков и активных температур, что соответствует избыточному увлажнению (ГТК = 2,7) в первой половине вегетации. Выпавшие осадки распределялись крайне неравномерно. В целом за вегетационный период 2023 года выпало больше осадков, чем в 2022 году (292,9 мм против 208 мм). Однако распределение осадков в 2023 году было крайне неравномерным, в отличие от более сбалансированного их распределения в 2022 году. В таких условиях бурая ржавчина проявилась слабо (рис. 2.4; Приложение Б.1).

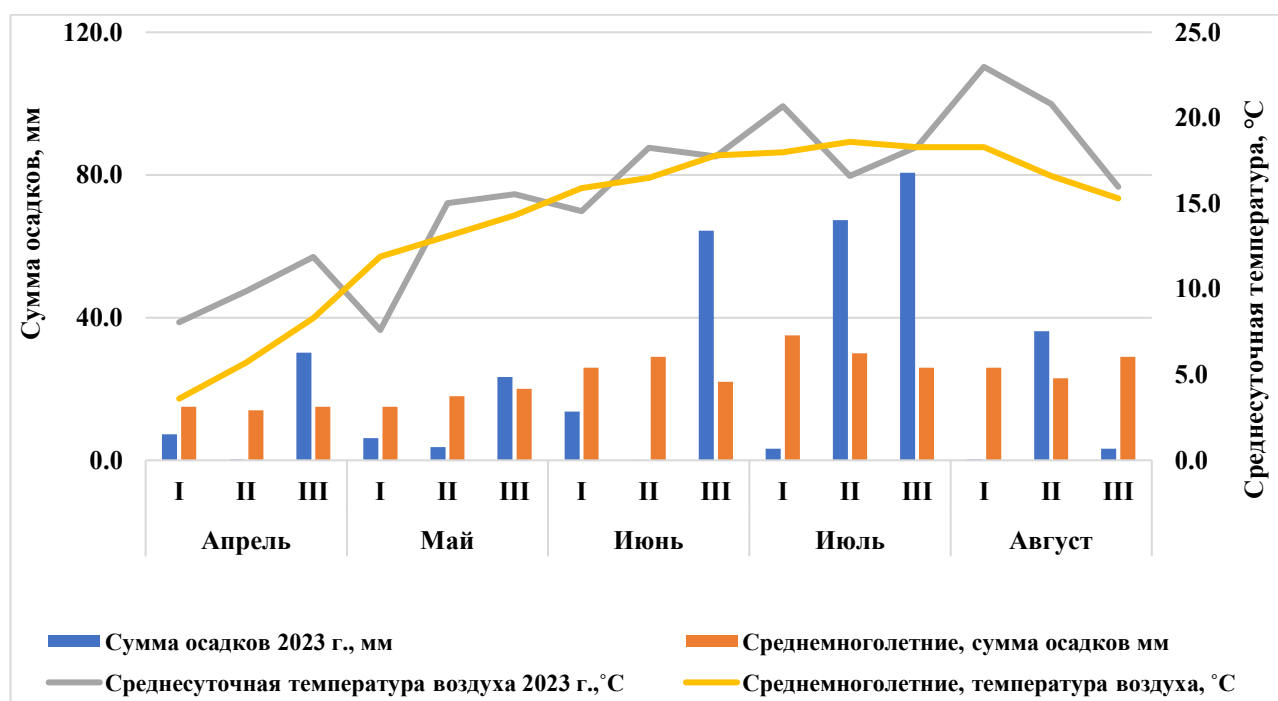


Рисунок 2.4 – Среднесуточная температура воздуха и сумма осадков в период вегетации яровой пшеницы в 2023 г. по данным Метеорологической обсерватории им. В.А. Михельсона РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева

В 2024 году посев проводился 29 апреля. После посева наблюдалось резкое понижение температуры, всходы появились только 14 мая. Начальная фаза (посев–всходы) характеризовалась экстремальным избытком влаги при острой нехватке тепла, что отразилось в рекордном значении (ГТК = 5,3). В период от всходов до колошения наблюдалась сильная засуха на фоне высоких температур, что свидетельствовало о резком снижении ГТК (ГТК = 0,7). Дефицит влаги в критическую фазу формирования вегетативной массы не позволил растениям пшеницы сформировать развитые побеги, аналогично 2023 году. В период от колошения до полной спелости наблюдался умеренный режим увлажнения, ГТК составил 1,4 (Приложение Б.1). В целом за вегетацию ГТК составил 1,8, при избытке осадков и повышенной температуре, что благоприятствовало развитию болезней, в частности бурой ржавчины. Однако ключевой негативной особенностью сезона 2024 года, как и предыдущего, стало экстремально неравномерное распределение влаги: избыток в начале вегетации сменился острым дефицитом в фазу интенсивного роста, что и определило стрессовые условия для яровой пшеницы (рис.2.5).

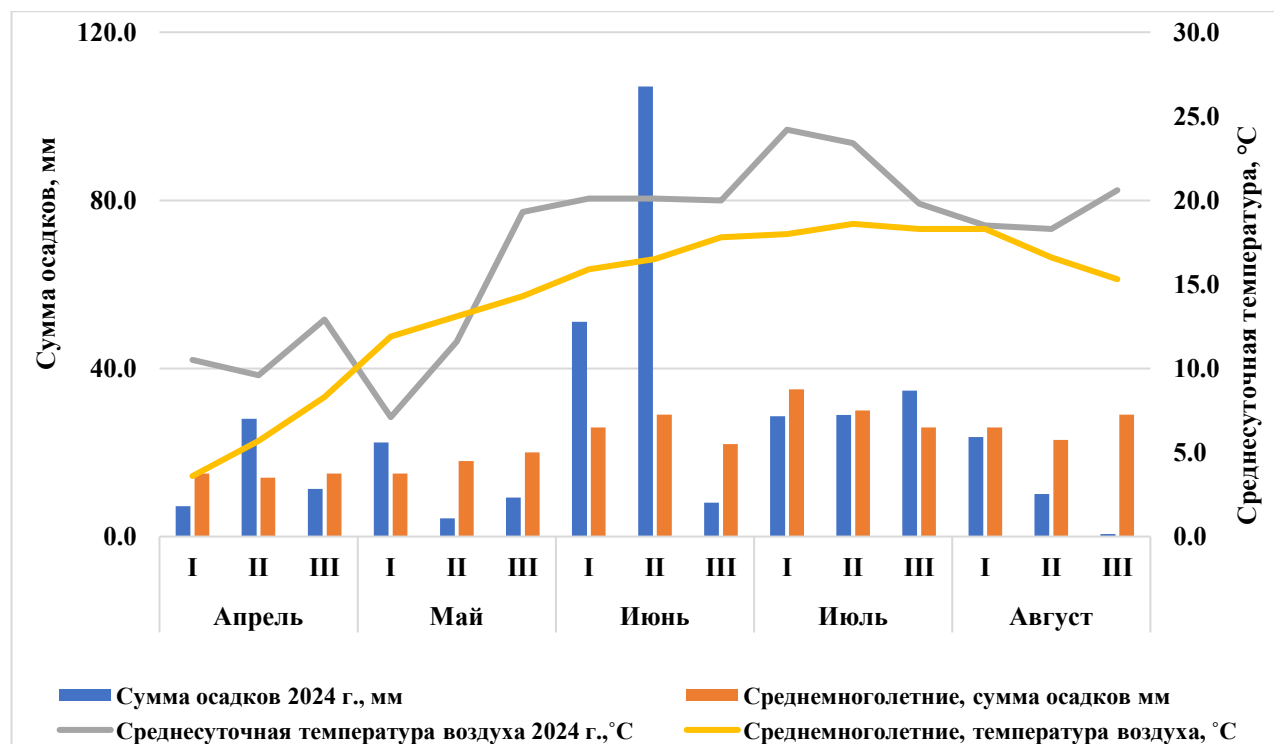


Рисунок 2.5 – Среднесуточная температура воздуха и сумма осадков в период вегетации яровой пшеницы в 2024 г. по данным Метеорологической обсерватории им. В.А. Михельсона РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева

2.4 Характеристика почвенно-климатических условий места проведения эксперимента

Почвы в исследуемом регионе характеризуются суглинистым и супесчаным составом. Их цвет преимущественно красно-бурый, что указывает на карбонатный состав, однако верхние слои (3–5 см) выщелочены. Верхние горизонты мощностью 40-50 см состоят из песчано-крупнопылеватого суглинка, содержащего валуны. По всей толще встречаются валуны. Необходимость известкования почв незначительна, так как показатель pH колеблется от 5,8 до 6,2, а содержание гумуса составляет 2,4–2,5%. Содержание калия (K_2O) варьируется в пределах 40–80 мг/кг почвы, фосфора (P_2O_5) – 158–167 мг/кг, а сумма обменных оснований достигает 13,5 мг-экв/100 г почвы (ГОСТ 26213-84, ГОСТ 26205-91). (Наумов и др., 2014; Заверткин, и др., 2023).

2.5 Методы полевых оценок яровой мягкой пшеницы

В течение вегетации проводили оценку наступления фенологических фаз: всходы, колошение, восковая и полная спелость, измеряли высоту растений и устойчивость к полеганию. Оценивали устойчивость к основным грибным болезням, которые проявляются у мягкой яровой пшеницы в Центральном районе Нечернозёмной зоны на естественном фоне – к мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчинам и септориозу в случае его проявления.

Методика оценки продолжительности межфазных периодов. В полевых условиях для оценки межфазных периодов и продолжительности вегетационного периода в качестве стандарта (st) использовали среднеранний сорт Злата селекции «ФИЦ Немчиновка». Учёт наступления фенологических фаз (всходы, колошение и восковая спелость) проводили по методике государственного сортоиспытания (Методика государственного сортоиспытания, 1989). Сравнение сортов и линий по группам спелости определяли в сравнении со стандартом Злата в соответствии с

Международным классификатором рода *Triticum* (Международный классификатор СЭВ рода *Triticum*, 1984).

Методика оценки устойчивости к грибным болезням (мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчине). Оценку уровня поражения растений проводили по универсальной 9-балльной шкале ВИР (Международный классификатор СЭВ рода *Triticum*, 1984). Оценку устойчивости проводили в фазу колошения, а затем – во время цветения согласно модифицированным методическим указаниям по изучению мировой коллекции пшеницы (Дорофеев и др., 1973; Мережко, 1998; Кривченко и др., 2008). Использовали балльную шкалу, где 1-3 балла соответствуют очень низкой и низкой устойчивости при сильном поражении (более 70–100% поражённой поверхности листа), 5 баллов – средней степени устойчивости (20–30% поражения), 7 баллов – высокой устойчивости при слабом поражении (10–20%), а 9 баллов – очень высокой устойчивости, или иммунитету, что означает отсутствие поражения (0%). Образцы, устойчивость которых соответствовала 7–9 баллам, считали высокоустойчивыми (R), 5 баллам – среднеустойчивыми (MR), 3 баллам – средневосприимчивыми (MS) и 1 баллу – восприимчивыми (S).

2.6 Методы определения физико-биохимических свойств зерна пшеницы

Полученное зерно оценивали по физическим свойствам. Массу 1000 зёрен определяли по ГОСТ 12042-80. Натуру измеряли при помощи микропурки (ГОСТ 10840 – 2017). Стекловидность определяли на электронном диафаноскопе «Янтарь-блик» (ГОСТ 26361-2013). Содержание белка и клейковины определяли с использованием спектрофотометра «Спектран ИТ». Для анализа шрот готовили на лабораторной мельнице ЛМЦ, в соответствии с методикой (Практикум по селекции и семеноводству, 2022).

2.7 Выделение геномной ДНК

Выделение геномной ДНК осуществляли из молодых листьев (100 – 150 мг) с применением цетримония бромид - СТАВ (Murray и Thompson, 1980; Doyle, 1991).

2.8 Метод идентификации высокомолекулярных глютеинин-кодирующих локусов *Glu-1* (HMW-GS)

Белки выделяли из отдельных полужерен, используя последовательную процедуру, описанную Сингхом и др. (Singh et al., 1991). Для каждого сорта анализировали по три зерна. Электрофорез высокомолекулярных глютеинов (High Molecular-Weight Glutenin Subunits HMW-GS) проводили на вертикальном геле (200 × 183 × 1 мм) (Bio-Rad Protean XL apparatus, Hercules, CA, USA) в соответствии с протоколом SDS-PAGE, описанным Branlard et al. (2000)., с изменениями: Время электрофореза составляло 20 ч при 20 мА нагель. Высокомолекулярные глютеины были идентифицированы по их электрофоретической подвижности относительно субъединиц сортов Chinese Spring, имевшего состав AxN/Bx7+By8/Dx2+Dy12, и Лада с комбинациями Ax2/Bx7+By9/Dx2+Dy12. Для нанопорового секвенирования отбирали часть образцов, аллельный состав которых не удавалось идентифицировать методом SDS-PAGE. Проростки гомогенизировали в жидком азоте, гранулы ДНК промывали 70%-ным этанолом и ресуспендировали в 50 мкл воды, не содержащей нуклеаз. Концентрацию и целостность ДНК оценивали с помощью NanoDrop и электрофореза в 1%-ном агарозном геле. Идентификацию локусов *Glu-1* проводили в Лаборатории маркерной и геномной селекции под руководством к.б.н. И.В. Груздева с использованием ПЦР и Nanopore-секвенирования (Kirov et al., 2022; Polkhovskaya et al., 2024). Оценку аллельного состава каждого локуса высокомолекулярных глютеинов проводили по балльной шкале Пейна (Payne, 1987). Для каждого образца определяли аллельные варианты локусов *Glu-A1*, *Glu-B1* и *Glu-D1*, после чего рассчитывали суммарный индекс качества как сумму баллов, присвоенных соответствующим аллелям согласно (см. табл. 2.8).

Таблица 2.8 – Индексная оценка глютенин кодирующих локусов по Пейну

Субгеном	Локус	Аллель	Субъединица	Оценка по Пейну
А (<i>Glu-A1</i>)	<i>Glu-A1</i>	a	1	3
	<i>Glu-A1</i>	b	2*	3
	<i>Glu-A1</i>	c	Null	1
В (<i>Glu-B1</i>)	<i>Glu-B1</i>	a	7	1
	<i>Glu-B1</i>	b	7+8	3
	<i>Glu-B1</i>	c	7+9	2
	<i>Glu-B1</i>	d	6+8	1
	<i>Glu-B1</i>	f	13+16	3
	<i>Glu-B1</i>	i	17+18	3
	<i>Glu-B1</i>	h	14+15	3
D (<i>Glu-D1</i>)	<i>Glu-D1</i>	a	2+12	2
	<i>Glu-D1</i>	d	5+10	4

2.9 ПЦР- идентификация пшенично-ржаной транслокации 1AL.1RS и 1BL.1RS

Для выявления пшенично-ржаной транслокации 1AL.1RS и 1BL.1RS использовали микросателлитный маркер SCM9 (Saal and Wricke, 1999; Weng et al., 2007). Для проведения молекулярного анализа в качестве контролей использовались сорта мягкой пшеницы с заранее известными транслокациями. И использованные молекулярные маркеры приведены в (табл. 2.10). При идентификации пшенично-ржаной транслокации 1BL.1RS использовались сорта Кавказ (носитель транслокации 1BL.1RS) и Chinese Spring (отсутствие транслокаций). Для транслокации 1AL.1RS применялись сорта Победа 75 (носитель 1AL.1RS) и Chinese Spring (отсутствие транслокации 1AL.1RS).

2.10 ПЦР-идентификация аллельного состояния генов *Rht-B1*, *Rht-D1* и *Rht8*

Для идентификации аллельного состояния генов короткостебельности *Rht-B1b* (= *Rht1*) и *Rht-D1b* (= *Rht2*) применяли метод KASP (конкурентная аллель-специфичная ПЦР) с использованием стандартных протоколов (LGC Genomics) (Ellis et al., 2002; Rasheed, 2016). При оценке аллельного состояния генов короткостебельности *Rht-B1* и *Rht-D1* были использованы сорта Алтиго (*Rht-B1a*, *Rht-D1b*) и Васса (*Rht-B1b*, *Rht-D1a*) в качестве контрольных образцов. Контрольные сорта (Кавказ, Победа 75, Алтиго, Васса) были предоставлены

ФГБНУ НЦЗ имени П.П. Лукьяненко. Для проведения ПЦР, считывания сигнала и обработки данных использовался амплификатор BIO-RAD CFX96 и программное обеспечение CFX Manager. Используемые молекулярные маркеры приведены в таблице (табл. 2.10).

Для определения аллельного состояния локуса *Rht8* использовали микросателлитный маркер Xgwm261 и метод капиллярного электрофореза на генетическом анализаторе «Нанофор-05» (Синтол, Россия). Локус *Rht8* расположен на хромосоме 2D, а маркер Xgwm261 находится на расстоянии 0,6 сМ от данного локуса. В качестве контроля использовали сорт Васса, носитель аллеля короткостебельности *Rht8c*. При интерпретации результатов учитывали калибровочную поправку, связанную с использованием красителя FAM для мечения прямого праймера Xgwm261-F. Идентификацию аллельных вариантов проводили в соответствии с принятой номенклатурой: фрагмент 165 п.н. соответствовал аллелю *Rht8a*, 174 п.н. *Rht8b*, 192 п.н. *Rht8c*, 201 п.н. – *Rht8d*, 210 п.н. *Rht8e*, 215 п.н. *Rht8f*, 196 п.н. *Rht8g*, 206 п.н. *Rht8h* (Korzun et al. 1998; Worland et al. 1998). Образцы с одновременной амплификацией двух фрагментов рассматривали как гетерогенные по данному маркерному локусу. Таким образом, определение аллельного состояния локуса *Rht8* проводили по длине амплифицированных фрагментов, полученных при фрагментном анализе (табл. 2.10).

Таблица 2.10 – Маркеры, использованные при идентификации аллелей генов короткостебельности и пшенично-ржаной транслокации 1RS

Название маркера	Определяемый аллель/транслокация	Источник
<i>Rht-B1</i> (KASP)	<i>Rht-B1a</i> (аллель дикого типа)	Ellis et al. 2002, Rasheed et al. 2016
	<i>Rht-B1b</i> (аллель короткостебельности)	
<i>Rht-D1</i> (KASP)	<i>Rht-D1a</i> (аллель дикого типа)	Ellis et al. 2002, Rasheed et al. 2016
	<i>Rht-D1b</i> (аллель короткостебельности)	
Xgwm261	<i>Rht8c</i> (аллель короткостебельности- 192 п.н.)	Korzun et al. 1998; Röder et al. 1998
SCM9	наличие 1BL.1RS (207 п.н.)	Saal and Wricke, 1999; Weng et al. 2007
	наличие 1AL.1RS (228 п.н.)	

2.11 ПЦР-идентификация генов *Vrn-1*

Анализ генов яровизации (*Vrn-1*) проводился с применением нескольких пар праймеров, разработанных авторами (Yan et al., 2004; Fu D et., 2005) (табл. 2.11). Для анализа аллелей *Vrn-A1* использовали KASP-маркер. В качестве контролей были использованы сорта пшеницы Сигма 5 (*Vrn-A1*, яровой) и Гонец (*vrn-A1*, озимый). Для проведения ПЦР, считывания сигнала и обработки данных использовался амплификатор BIO-RAD CFX96 и программное обеспечение CFX Manager. Для идентификации аллелей гена *Vrn-B1* использовали пары праймеров Intr1/B/F и Intr1/B/R3 для амплификации доминантного аллеля *Vrn-B1* (709 п.н.) и Intr1/B/F и Intr1/B/R4 для рецессивного аллеля *vrn-B1* (1149 п.н.). Для анализа гена *Vrn-D1* применяли пары праймеров Intr1/D/F и Intr1/D/R3 для амплификации доминантного аллеля *Vrn-D1* (1671 п.н.) и Intr1/D/F и Intr1/D/R4, для рецессивного аллеля *vrn-D1* (997 п.н.) (Fu et al., 2005).

Таблица 2.11 – Маркеры, использованные при идентификации генов *Ppd-1* и *Vrn-1*

Аллель, определяемый в результате ПЦР	Определяемый аллель	Литературный источник
<i>Ppd-A1</i> (KASP)	<i>Ppd-A1a</i> (аллель фотопериод нечувствительный)	Nishida et al. 2013, Rasheed et al. 2016
	<i>Ppd-A1b</i> (аллель фотопериод чувствительный)	
<i>Ppd-D1</i> (KASP)	<i>Ppd-D1a</i> (аллель фотопериод нечувствительный)	Beales et al. 2007, Rasheed et al. 2016
	<i>Ppd-D1b</i> (аллель фотопериод чувствительный)	
<i>Vrn-A1</i> (KASP)	<i>vrn-A1</i> (озимый)	Fu et al. 2005, Yan et al. 2004; Rasheed et al. 2016
	<i>Vrn-A1a</i> (яровой)	
<i>Vrn-B1</i>	<i>Vrn-B1</i> (яровой)	Fu et al. 2005, Shcherban et al., 2012.
	<i>vrn-B1</i> (озимый)	
<i>Vrn-D1</i>	<i>Vrn-D1</i> (яровой)	
	<i>vrn-D1</i> (озимый)	

В качестве контролей использовали сорта пшеницы Паллада (*Vrn-B1*, *vrn-D1*) и Велена (*vrn-B1*, *Vrn-D1*). Электрофоретическое разделение продуктов ПЦР для генов *Vrn-B1* и *Vrn-D1* выполняли в 1,5% агарозном геле в ТВЕ-буфере (1×) при напряжении 6 В/см в течение 30–40 минут. Визуализация ампликонов осуществлялась с использованием бромистого этидия и фотодокументацией на системе Gel Doc XR+ (Bio-Rad, США). В качестве маркера молекулярной массы применяли GeneRuler 100 bp DNA Ladder Thermo Fisher Scientific (табл.2.11).

2.12 ПЦР-анализ для генов *Ppd-1*

Анализ аллелей фотопериодической чувствительности *Ppd-1* осуществляли с использованием двух KASP-маркеров: *Ppd-A1* и *Ppd-D1*, разработанных авторами (Beales et al., 2007; Rasheed et al., 2016). Маркер *Ppd-A1* различает два аллеля: *Ppd-A1b* определяющий чувствительность к фотопериоду и *Ppd-A1a* определяющий нечувствительность к фотопериоду. Маркер *Ppd-D1* различает два аллеля: *Ppd-D1a*, определяющий нечувствительность к фотопериоду, и *Ppd-D1b*, определяющий чувствительность к фотопериоду. В качестве контролей были использованы сорта пшеницы Алтиго с аллелем *Ppd-D1b* и Велена с аллелем *Ppd-D1a* (табл. 2.11). Для проведения ПЦР, считывания сигнала и обработки данных использовался амплификатор BIO-RAD CFX96 и программное обеспечение CFX Manager.

2.13 Методика лабораторной выпечки хлеба из пшеничной муки

После очистки зерно измельчали на лабораторной мельнице «Квадрумат Юниор» фирмы «Брабендер». Пробную лабораторную выпечку проводили через месяц после отлежки зерна по модифицированной методике государственного сортоиспытания (Методика государственного сортоиспытания, 1988). Хлебопекарные качества зерна пшеницы оценивали по способности образовывать объёмный пышный хлеб с тонкостенными мелкими порами, куполообразной формой, гладкой румяной корочкой, белым упругим мякишем, приятным ароматом и вкусом. Каждому признаку присваивали определённый балл, на основе которого вычисляли средний балл общей хлебопекарной оценки. Пшеница с показателем 4 балла характеризовалась как ценная по качеству, а с оценкой 4,5 и выше – как сильная по качеству. Для проведения анализа использовали стандартизированные методы оценки хлебопекарных качеств готового хлеба (Белоусова Е.М., 1990).

Статистическая обработка. Статистическую обработку данных выполняли методом дисперсионного анализа (ANOVA) с использованием Statistica 12. Корреляционный анализ проводили по Пирсону. Визуализацию результатов осуществляли в среде R (ggplot2, dplyr).

Расчет индексов для комплексной оценки коллекции пшеницы. Для обобщённой оценки селекционной ценности изученных образцов проводили комплексную индексную оценку по совокупности 15 хозяйственно ценных признаков. Частные индексы (I) рассчитывали как отношение значения признака у конкретного образца к его среднему значению по коллекции. Комплексный индекс (I_k) определяли как произведение частных индексов по всем учитываемым признакам. Полученные значения сопоставляли с комплексным индексом стандарта; образцы с индексом, равным или превышающим значение стандарта, относили к наиболее ценным по совокупности признаков.

ГЛАВА 3 ПОЛЕВАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ И ЛИНИЙ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

В данной главе будут рассмотрены результаты анализов, которые можно проводить только в условиях поля. Сюда входят: 1. результаты фенологических наблюдений, позволяющие рассчитать продолжительность межфазных периодов, а также общую продолжительность всего вегетационного периода образца; 2. Оценка высоты растений на делянке и устойчивость растений к полеганию; 3. Оценка устойчивости к основным грибным болезням (мучнистая роса, бурая ржавчина, стеблевая ржавчина, септориоз); 4. Оценка урожайности зерна и ее структурных элементов.

3.1 Анализ сортов и линий яровой мягкой пшеницы по продолжительности вегетационного периода и устойчивости к неблагоприятным факторам среды

В селекции не определяют все межфазные периоды, а только основные – всходы, колошение и восковую спелость. Это позволяет определить группу спелости образца, а также планировать использование образца в скрещиваниях для получения форм с коротким или более продолжительным вегетационным периодом, что зависит от зоны возделывания при создании сорта.

Согласно литературным источникам, продолжительность вегетационного периода яровой пшеницы колеблется от 70 до 140 дней и определяется как генетическими особенностями сорта, так и условиями выращивания (Фляксбергер, 1938; Руденко, 1960; Зыкин и др., 2000). В Российской Федерации используется классификация групп спелости, утверждённая Государственной комиссией по испытанию и охране селекционных достижений, включающая категории: раннеспелые, среднеранние, среднеспелые, среднепоздние и позднеспелые (Лихенко и др., 2014; www.gossort.com).

В Международном классификаторе рода *Triticum* (1984) группы спелости определяются по отклонению срока колошения от стандарта: на 6 и более дней раньше – очень ранние; на 4–5 дней – ранние; на 2–3 дня – среднеранние; в пределах

одного дня – среднеспелые; на 2–3 дня позже – среднепоздние; на 4–5 дней – поздние; более чем на 6 дней – очень поздние. В данной работе определяли группы спелости образцов яровой пшеницы, согласно Международному классификатору (Международный классификатор СЭВ рода *Triticum* L., 1984).

3.1.1 Продолжительность вегетационного периода у сортов яровой мягкой пшеницы

Исследования проводили в Московской области со своим комплексом природно-климатических условий, оказавших решающее влияние на развитие растений и продолжительность межфазных периодов. Однако многие сорта были созданы для других регионов России и Европейских стран с другим комплексом природных факторов. Каждый сорт был охарактеризован оригинатором и Госсорткомиссией по результатам изучения в соответствующих условиях. Такие характеристики набора сортов были взяты из материалов Государственной комиссии по испытанию и охране селекционных достижений. Они представлены в таблице 3.1. Поскольку в данной работе стандартом был сорт, созданный в ФИЦ «Немчиновка», территориально расположенном в Центральном регионе Нечернозёмной зоны России, то при сравнении с ним получились оценки группы спелости сортов, отличающиеся от данных Госсорткомиссии.

Продолжительность межфазных периодов у 23 сортов яровой мягкой пшеницы существенно варьировала в зависимости от погодных условий вегетационного периода в 2022–2024 гг. Анализ показал, что метеорологические факторы каждого года оказывали заметное влияние как на ранние, так и на поздние фазы вегетации (табл. 3.1; Приложение Г).

В 2022 году период от всходов до колошения варьировал от 40 до 48 дней. Наименьшее значение отмечено у сорта Злата (40 дней) и сорта Ирень (40 дней), максимальное у Л-57 и Тобольская (по 48 дней). Большинство сортов демонстрировали среднюю продолжительность фазы в пределах 44–46 дней.

В 2023 году наблюдалось общее удлинение фазы «всходы – колошение» (от 44 до 50 дней), что обусловлено пониженной температурой при дефиците осадков

(ГТК = 0,7). Минимальные значения зарегистрированы у сортов Злата, Саратовская 74, Агата, Тюменская 29 и Арабелла (по 44–45 дней), тогда как максимальные – у Тулайковская 108, Обская 2, Тобольская, Алтайская Жница, Фаворит и Л-57 (по 49–50 дней). Следует отметить, что удлинение межфазного периода на 4-5 дней произошло только у группы среднеранних сортов, тогда как у сортов с более продолжительным межфазным периодом изменений почти не было (Приложение Б.2).

В 2024 году продолжительность фазы «всходы – колошение» сократилась у всех сортов, варьируя от 30 до 38 дней. Это связано с повышенными температурами в сравнении с предыдущими годами, что привело к ускоренному развитию растений. Наиболее раннее выколашивание наблюдалось у сорта стандарта Злата (30 дней), а также у Ирень и Ласка (по 31 дню). Более поздние сроки отмечены у Л-57, Фаворит и Тобольская 36–38 дней (Приложение Б.2).

В 2022 году продолжительность межфазного периода от колошения до полной спелости колебалась от 29 до 37 дней. Минимальные значения зафиксированы у сортов Золушка, Канюк, Тулайковская 108 и ряда других (29–31 день), максимальные – у сортов Маргарита, Учитель, Гранни и Гранова (до 37 дней) (Приложение Б.2).

В 2023 году наблюдалось удлинение межфазного периода от колошения до полной спелости до 38–47 дней, что связано с дождливым периодом и пониженной температурой воздуха после колошения. Самые короткие отмечены у сортов Ирень и Канюк (по 37–38 дней), а наиболее длительные – у Саратовская 74, Симбирцит и Ласка по 46–47 дней (Приложение Б.2).

В 2024 году длительность фазы вновь сократилась, варьируя от 31 до 39 дней. Большинство сортов достигли фазы полной спелости быстрее, чем Злата (38 дней), что обусловлено высокими температурами во второй половине вегетации. Наиболее коротким межфазным периодом отмечены сорта Тобольская, Золушка, Обская 2 и Мандарина (31-33 дня). У большинства сортов продолжительность данного периода составила около 34-36 дней. (Приложение Б.2).

В 2022 году полный вегетационный период от всходов до полной спелости составлял от 81 до 91 дня. К самым раннеспелым отнесены сорта Злата, Тюменская 29, Ирень и Канюк (81-82 дня), к позднеспелым – Тобольская, Маргарита, Учитель, Фаворит, Гранни и Тризо (90–91 день) (Приложение Б.2).

В 2023 году продолжительность вегетации увеличилась до 95–102 дней, что на 10–15 дней превышает показатели предыдущего года. Наименьшие значения установлены у сортов Ирень и Золушка (94 дня), у Златы – 95 дней (табл. 3.1). Максимальные значения зафиксированы у Саратовской 74, Агата, Обской 2 и др. (101–102 дня) (Приложение Б.2).

В 2024 году вегетационный период вновь сократился, варьируя от 81 до 87 дней. У большинства сортов вегетационный период значительно сократился вследствие засухи. Поэтому созревание наступило раньше, либо на уровне стандарта. Самый короткий вегетационный период отмечен у сортов Агата, Тюменская 29, Ирень и Золушка (81-82 дня). Наибольшая продолжительность вегетационного периода отмечена у сортов Учитель, Фаворит, Гранни и Арабелла (86-87 дней). У остальных сортов вегетационный период варьировал в пределах 83-85 дней (Приложение Б.2).

Так, к раннеспелой группе как по реестру, так и по нашим данным относится только сорт Ирень. В среднераннюю группу уверенно попадают сорта Тюменская 29 и Золушка. Многие сорта в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России несколько затянули вегетацию и попали в группу более поздних сортов, чем это определили оригинаторы (Саратовская 74, Тулайковская 108, Алтайская Жница, Маргарита, Учитель, Фаворит Гранни, Бомбона, Ласка, Гранова и Мандарина). Сорта Агата, Симбирцит, Обская 2, Тризо, Л-57 и Арабелла попали в ту же группу спелости в условиях ЦРНЗ, что и в соответствующих регионах допуска (табл. 3.1; (Приложение Б.2).

Анализ коэффициента вариации по «всходы–колошение» показал, что у изученных сортов данный показатель варьировал в пределах 14–19 %. Это свидетельствует об умеренной изменчивости признака и относительно близком уровне его стабильности. Анализ коэффициента вариации по «вегетационному

периоду» показал, что у изученных сортов данный показатель варьировал в пределах 6–12 %. Это свидетельствует о стабильности данного признака у большинства сортов. Коэффициент вариации продолжительности вегетационного периода у сортов яровой мягкой пшеницы составил 6–12 %, что свидетельствует о высокой стабильности данного признака у большинства изученных сортов (Приложение И.1). Полученные результаты подчёркивают важность региональной адаптации сортов и необходимости в ведении селекционной работы, направленной на создание сортов с оптимальной продолжительностью вегетационного периода, соответствующей климатическим условиям.

Таблица 3.1 – Продолжительность межфазных периодов сортов яровой мягкой пшеницы в среднем за 2022–2024 гг.

Название	Межфазные периоды, сут		Вегетационный период, сут.	Группа спелости	
	всходы – колошение	колошение – восковая спелость		по нашим данным	по данным Госреестра
Злата (st)	38,0	37,0	86,3	среднеранний	среднеранний
Саратовская 74	40,3	38,7	90,3	среднепоздний	среднеспелый
Агата	41,0	36,7	89,0	среднеспелый	среднеспелый
Тулайковская 108	43,3	35,3	90,0	среднепоздний	среднеспелый
Симбирцит	40,7	37,0	89,0	среднеспелый	среднеспелый
Тюменская 29	39,7	36,3	87,3	среднеранний	среднеспелый
Обская 2	43,0	35,0	89,3	среднеспелый	среднеспелый
Тобольская	45,3	35,0	91,7	позднеспелый	среднепоздний*
Алтайская Жница	43,0	35,3	89,7	среднепоздний	среднеспелый*
Маргарита	41,7	39,0	92,0	позднеспелый	среднеспелый*
Учитель	41,0	39,7	92,0	позднеспелый	среднеспелый
Фаворит	43,7	38,3	93,3	позднеспелый	среднеспелый*
Гранни	41,0	39,7	92,0	позднеспелый	среднеспелый
Тризо	41,7	38,3	91,3	среднепоздний	среднепоздний
Ирень	39,0	35,3	85,7	среднеранний	раннеспелый*
Бомбона	41,7	38,0	91,0	среднепоздний	среднеспелый*
Л-57	41,7	36,3	89,3	среднеспелый	среднеспелый
Ласка	39,3	39,3	90,0	среднепоздний	среднеспелый*
Арабелла	40,0	38,0	89,3	среднеспелый	среднеспелый
Гранова	40,0	39,0	90,3	среднепоздний	среднеспелый
Мандарина	42,7	37,3	91,3	среднепоздний	среднеспелый*
Канюк	44,0	33,3	88,7	среднеспелый	среднеспелый*
Золушка	41,7	33,7	86,7	среднеранний	среднеранний

*по данным оригинатора

3.2 Анализ линий яровой мягкой пшеницы селекции CIMMYT по продолжительности вегетационного периода и устойчивости к неблагоприятным факторам среды

3.2.1 Продолжительность вегетационного периода у линий яровой мягкой пшеницы селекции CIMMYT

Представленные результаты отражают реальные факты, полученные в условиях ЦРНЗ. Данные линии не включены в Госреестр, поэтому описания их групп спелости нет. В данной работе приведены группы спелости синтетических линий пшеницы только по результатам сравнения со стандартом Злата.

Продолжительность вегетационного периода у изученных линий яровой мягкой пшеницы CIMMYT варьировала по годам в зависимости от погодных условий, отражая реакцию генотипов на изменчивость внешней среды (табл. 3.2). Основные климатические аномалии наблюдались в 2023 году, когда затяжные осадки в июне–июле и пониженные температуры способствовали удлинению фазы налива зерна. Это привело к увеличению продолжительности вегетации по сравнению с 2022 и 2024 годами (табл. 3.2; Приложение Б.3).

В 2022 году продолжительность периода от всходов до колошения варьировала в пределах 40-50 суток. Наиболее коротким этот период был у стандарта Злата и линий №147, №150, №151, №221 и №223 – 40-42 дня. Самый большой по продолжительности межфазный период в 49-50 дней был у линий №23 и №153. У остальных линий период составлял 44-47 дней (Приложение Б.3).

В 2023 году продолжительность межфазного периода от всходов до колошения у всех образцов была увеличена до 44-51 суток. Наиболее короткий период (44-45 дней) был у стандарта Злата и линий №147, №150, №152, №221 и №223. Наиболее продолжительным периодом характеризовались линии №23, №35, №65 и №153. Продолжительность данного периода у остальных линий находилась в пределах 46-49 дней (Приложение Б.3).

В 2024 году вследствие высокой температуры на фоне засухи продолжительность периода от всходов до колошения сильно сократился и

составил 30-42 суток. Наиболее ранними был стандарт Злата и линии №221 и №223 (30-31 сутки). Наиболее продолжительным этот период был у линий №23, №65 и №153 (40-42 дня). Продолжительность межфазного периода у остальных сортов варьировала в пределах 32-38 суток (Приложение Б.3).

Таким образом, в течение трех лет исследований наименьшей продолжительностью межфазного периода от всходов до колошения характеризовались линии №147, №150, №151, №221 и №223. У них средняя по годам продолжительность периода составила 38-40 суток (табл. 3.2).

Межфазный период от колошения до полной спелости в 2022 году варьировал от 30 до 40 суток. Наиболее коротким характеризовались сорт Злата и линии №59, №70, №79, №147, №152, №215, №220, №221 и №223 – 30-32 суток. Наибольшая продолжительность была отмечена у линий №151 и №178 – 37-41 день (Приложение Б.3).

В 2023 году продолжительность межфазного периода от колошения до полной спелости составила 38-46 дней. У половины линий она отличалась от стандарта на 1-2 дня, и составляла 38-42 суток. Это линии №23, №35, №59, №65, №70, №147, №151, №153, №187, №220. Самым длительным этот период был у линий №215, №221 и №223 – 45-46 суток. Остальные линии показали средние значения (Приложение Б.3).

В 2024 году продолжительность межфазного периода от колошения до полной спелости составил от 29 до 41 суток. Самым коротким периодом отличались линии №23, №65, №66, №153 и №217 – 29-32 дня. Следует отметить, что у стандарта Златы этот период оказался существенно больше – 38 суток. Наибольшей продолжительностью периода отличались линии №147 и №178 – 39-41 сутки (Приложение Б.3).

Таким образом, в течение трех лет исследований наименьшей продолжительностью межфазного периода от колошения до полной спелости характеризовались стандарт Злата и большинство линий – 34-38 суток. Отдельные линии имели более продолжительный период – линии №151, №152 и №178. У них он составил 39-40 суток (табл. 3.2).

В 2022 году вегетационный период большинства линий составил 81–92 дня. Самыми скороспелыми были стандартный сорт Злата (81 день), линии №220, №221 и линия №223 (82 дня), что позволяет отнести их к группе среднеранних. Линии №59, №65, №66, №150, №152 и №215 отставали от стандарта на 7–11 дней, демонстрируя среднепозднюю спелость. Наибольшая длительность вегетации (92 дня) зафиксирована у линий №35, №151, №153 и №178 (Приложение Б.3).

В 2023 году продолжительность вегетации увеличилась у всех образцов. Средние значения варьировали от 94 до 103 дней. Максимальные значения отмечены у линий №153 и №217 (по 103 дня), тогда как минимальные у Златы (95 дней), №70 и №220 (94 дня). Более позднее наступление фазы полной спелости связано с высокими осадками во второй половине лета, способствовавшими активному образованию вегетативной массы, но задерживавшими её созревание (Приложение Б.3).

В 2024 году, напротив, наблюдалось общее сокращение длины вегетационного периода, что связано с высокими температурами в июне–июле и ранним наступлением периода физиологической спелости. Продолжительность варьировала в пределах от 81 до 93 суток. Минимальные значения зафиксированы у линий №178 и №220 (81 день), максимальные – у линий №23 и №153 (89 и 93 дней соответственно). В среднем, большинство линий достигали полной спелости в течение 84–86 дней (Приложение Б.3).

В среднем за три года, продолжительность вегетационного периода варьировала от 86 дней (Злата и линии №220 и №221) до 96 дней (линии №23 и №153). На основании средней продолжительности вегетационного периода за 2022–2024 гг. изученные линии яровой пшеницы СИММУТ были отнесены к различным группам спелости. К среднеранним (≤ 87 дней) были отнесены стандарт Злата и линии №220 и №221. Эти образцы характеризовались коротким вегетационным циклом, сопоставимым с адаптированными сортами, и перспективны для условий с ограниченным вегетационным периодом. К среднеспелым (88,0–90,0 дней) отнесены линии №70, №147, №150, №187 и №223. Их фенологическое развитие в среднем задерживалось на 2–4 дня по сравнению с

раннеспелыми образцами. В группу среднепоздних (90–92 суток) вошли линии № 59, №67, №79, №151, №152 и №215. Эти линии характеризовались стабильной, но удлинённой фазой налива зерна, особенно в благоприятные по влажности годы (табл. 3.2).

В группу позднеспелых (94-96 суток) вошли линии №35, №65, №66, №178 и №217. Указанные образцы отставали по срокам созревания от стандарта на 5–8 дней, что делает их менее предпочтительными для Центрального района Нечернозёмной зоны. И к очень поздним отнесены линии №23 и №153. Продолжительность их вегетационного периода превышала аналогичный показатель у Златы на 9-10 суток. Это может ограничивать их использование в условиях короткого теплого периода, характерного для Центрального Нечерноземья (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Продолжительность межфазных периодов линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ в среднем за 2022–2024 гг

Название	Межфазные периоды, сут		Вегетационный период, сут.	Группа спелости
	всходы – колошение	колошение – восковая спелость		
Злата (st)	38,0	37,0	86,3	среднеранний
Линия №23	46,7	35,0	94,0	очень поздний
Линия №35	44,7	37,0	92,3	позднеспелый
Линия №59	43,3	36,0	90,7	среднепоздний
Линия №65	46,3	35,0	92,0	позднеспелый
Линия №66	43,7	36,0	92,0	позднеспелый
Линия №67	43,0	38,0	90,7	среднепоздний
Линия №70	41,3	34,0	87,7	среднеспелый
Линия №79	42,7	36,0	90,7	среднепоздний
Линия №147	39,7	38,0	87,7	среднеспелый
Линия №150	39,7	38,0	89,3	среднеспелый
Линия №151	40,0	40,0	91,3	среднепоздний
Линия №152	40,7	39,0	90,7	среднепоздний
Линия №153	47,0	35,0	96,0	очень поздний
Линия №178	43,7	40,0	93,0	позднеспелый
Линия №187	44,0	35,0	88,3	среднеспелый
Линия №215	41,3	37,0	90,3	среднепоздний
Линия №217	44,3	36,0	91,7	позднеспелый
Линия №220	41,0	34,0	85,7	среднеранний
Линия №221	39,3	38,0	86,3	среднеранний
Линия №223	39,3	38,0	88,6	среднеспелый

Коэффициент вариации продолжительности периода «всходы–колошение» у линий селекции СИММУТ варьировал от 10 до 19 %, что свидетельствует об умеренной изменчивости данного признака и в целом сопоставимом уровне его стабильности с изученными сортами. Наименьшее значение коэффициента вариации отмечено у линии №65 (10 %), тогда как максимальные значения выявлены у линий №221 и №223 (19 %). Коэффициент вариации продолжительности вегетационного периода у линий составил 6–12 %, что указывает на высокую стабильность данного признака у большинства изученных линий. Наиболее стабильными по продолжительности вегетационного периода были линии №151 и №153 (6 %), тогда как наибольшее значение коэффициента вариации отмечено у линии №223 (12 %) (Приложение И.1).

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о широкой дифференциации линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ по продолжительности вегетационного периода, что подчёркивает высокую генетическую вариабельность по признаку спелости. Линии с укороченным вегетационным циклом (№220, №221, а также стандарт Злата) представляют практический интерес для использования в селекции скороспелых форм, адаптированных к условиям с ограниченным теплоснабжением и риском засушливого завершения вегетации – в том числе для Центрального района Нечернозёмной зоны России (табл. 3.2).

3.3. Оценка сортов по высоте растений и устойчивости к полеганию

Полегание остаётся одной из ключевых причин снижения урожайности и качества зерна пшеницы, особенно в условиях повышенной влажности. Устойчивость к полеганию определяется комплексом факторов: морфологическими особенностями стебля и корневой системы, а также условиями среды. В этой связи одной из задач современной селекции является разрыв этой корреляционной связи и отбор генотипов с оптимальным сочетанием высоты, устойчивости к полеганию и высокой продуктивности (Ворончихина, 2022).

В наших исследованиях высоту растений яровой пшеницы определяли в полевых условиях по усреднённым значениям из центральной части делянок в фазу конца цветения и начала формирования зерна.

В 2022 году высота растений среди исследуемых сортообразцов варьировала от 65,0 см (Гранова) до 102,5 см (Маргарита, Учитель), при среднем значении по группе – около 80–85 см. Достаточно высокорослыми оказались также Фаворит (97,5 см), Тобольская (97,5 см), Обская 2 и Алтайская Жница (по 95 см). Минимальные значения высоты (менее 75 см) зафиксированы у Ласка, Арабелла, Бомбона, Мандарина и Золушка (Приложение Б.4).

В 2023 году наблюдалось существенное снижение высоты большинства образцов, что, вероятно, связано с жаркими и сухими условиями мая-июня. Средняя высота в этот год составляла 60–70 см. Минимальные значения отмечены у сортов Ласка, Л-57 и Гранова (53–57 см), в то время как наибольшая высота сохранялась у сортов Злата (63,5 см), Алтайская Жница и Тобольская – 73–75 см. (Приложение Б.4).

В 2024 году высота растений варьировала в пределах 52,4–82,0 см. Самыми низкорослыми снова оказались Гранни (52,4 см), Ласка (73,5 см) и Тризо (61,6 см), в то время как Тулайковская 108, Обская 2, Тобольская и Мандарина продемонстрировали высоту выше 79 см (Приложение Б.4).

Средние значения за три года колебались от 65,2 см (Золушка) до 84,8 см (Тобольская). Таким образом, ряд образцов характеризовался стабильной средней высотой около 80 см и выше (Тобольская, Фаворит, Алтайская Жница), в то время как такие сорта, как Золушка, Ласка, Арабелла, Мандарина и Гранова, проявляли признаки генетически обусловленной низкорослости (рис.3.3; Приложение Б.4).

Оценка устойчивости к полеганию проводилась визуально по пятибалльной шкале. В большинстве случаев устойчивость оставалась на высоком уровне. Средние баллы по сортообразцам колебались в диапазоне от 3,8 (Маргарита) до 5,0 (Агата, Симбирцит, Обская 2, Тобольская, Бомбона и др.). Образцы с наибольшей высотой не всегда проявляли склонность к полеганию: например, Тобольская (84,8 см) и Тулайковская 108 (77,9 см) характеризовались устойчивостью на уровне 5,0

баллов во все годы исследований. Наиболее нестабильными по устойчивости к полеганию оказались высокорослые сорта Маргарита, Учитель и Саратовская 74, у которых в отдельные годы наблюдался изгиб стебля или частичное полегание, особенно при сильных осадках и нагрузках в фазе цветения и молочной спелости (рис.3.3; Приложение Б.4).

Коэффициент вариации высоты растений у изученных сортов варьировал от 6 до 25 %, что свидетельствует о различной степени изменчивости данного признака в зависимости от генотипа. Наиболее стабильным по высоте растений был сорт Бомбона (6 %), тогда как наибольшая изменчивость отмечена у сорта Фаворит (25 %). Коэффициент вариации по устойчивости к полеганию составил 0–27 %; при этом у ряда сортов данный показатель был равен 0 %, что указывает на стабильное проявление высокой устойчивости к полеганию в годы исследований. Максимальная изменчивость по этому признаку отмечена у высокорослых сортов таких как Тюменская 29 и Маргарита (27 %) (Приложение И.1).

Корреляционный анализ выявил в целом слабую отрицательную связь между высотой растений и устойчивостью к полеганию (в среднем $r = -0,38$; в 2022 г. $r = -0,44$), тогда как в 2023 г. зависимость была слабой положительной ($r = 0,22$). Аномалия 2023 г., вероятно, объясняется отсутствием погодных условий, провоцирующих полегание. В 2024 г. расчёт не проводился из-за отсутствия вариации признака (Приложение Б.4).

Таким образом, несмотря на тенденцию к положительной корреляции между высотой растений и склонностью к полеганию, часть сортов проявила устойчивость даже при относительно высоком габитусе. Это делает их ценными источниками для селекции при сохранении достаточной высоты, необходимой для формирования урожая. Сорта с высотой до 75 см и стабильной устойчивостью (например, Бомбона, Гранни, Гранова, Агата, Золушка, Арабелла, Симбирцит) могут рассматриваться как потенциальные доноры генов низкостебельности и устойчивости к полеганию в условиях ЦРНЗ (рис.3.3; Приложение Б.4).



Рисунок 3.3 – Высота растений и устойчивость к полеганию сортов яровой пшеницы (среднее за 2022–2024 гг.).

3.4 Оценка высоты растений и устойчивость к полеганию линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ

Высота растений и устойчивость к полеганию являются важными морфологическими признаками, напрямую связанными с продуктивностью и адаптивностью сортов в условиях различных климатических зон. По результатам трёхлетнего полевого эксперимента, проведённого в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны, выявлено значительное варьирование по высоте растений и степени устойчивости к полеганию среди исследуемых линий СИММУТ (Приложение Б.5)

В 2022 году условия благоприятствовали развитию большой вегетативной массы растений. Все образцы в этот год показали максимальную высоту растений в сравнении с последующими годами исследований. Значения признака варьировали от 80 до 105 см (Приложение Б.5). В целом, даже такая высота не является большой для условий ЦРНЗ (т.е. в пределах 100 см). Наиболее высокорослыми оказались линии №147, №215 и №217 (100-105 см). Самыми низкорослыми были стандарт Злата, линии №35, №65 и №67 (80-85 см).

В 2023 году высота растений была существенно ниже (53-73 см). Самыми низкорослыми оказались стандарт и линии №67, №70, №151 и №153 (53-57 см). Остальные линии были примерно на одном уровне – 60-73 см. Максимальная высота была отмечена у линий №23, №152, и №178 (70-73 см). Видно отсутствие соответствия между образцами за два года (Приложение Б.5).

В 2024 году растения пшеницы также были низкорослыми (56-83 см). Самыми низкорослыми ниже стандарта были линии № 59, №70, №147, № 187, №215 (56-64 см) и №223. Высокорослыми были линии №66, №67, №152 и №221 (75-83 см) (Приложение Б.5). Также отсутствует соответствие между годами. Видно, что образцы нестабильны по проявлению высоты в разные годы (Приложение Б.5).

В целом, образцы яровой пшеницы, полученные из СИММУТ, не превышали 1 м по высоте, что можно считать вполне приемлемым для условий Нечернозёмной зоны (рис.3.4).



Рисунок 3.4 – Высота растений и устойчивость к полеганию линий яровой мягкой пшеницы (среднее за 2022–2024 гг.).

По оценке устойчивости к полеганию, все линии продемонстрировали высокие показатели в 2022 и 2024 гг. (в большинстве случаев – 5,0 баллов). В то же время в 2023 году у части образцов (линии №147, №215, №220, №223 и сорта Злата) отмечено снижение устойчивости до 3,0–4,0 баллов. Это снижение может быть связано с неблагоприятными погодными условиями, особенно избыточным количеством осадков в фазу от колошения до спелости, ослабляющим механическую прочность стеблей. В частности, в 2023 году вегетационный период сопровождался выпадением 215,7 мм осадков против 90,7 мм в 2022 году, что значительно увеличило нагрузку на вегетативную массу растений и спровоцировало частичное полегание у высокорослых генотипов (рис. 3.4).

Коэффициент вариации высоты растений у изученных линий селекции СІММУТ варьировал от 11 до 31 %, что немного выше, чем у сортов, это свидетельствует о различной степени изменчивости данного признака в зависимости от генотипа. Наиболее стабильной по высоте растений была линия №65 (11%) и линий №221 (13 %), тогда как наибольшая изменчивость отмечена у линий №70 (29 %) и линий №215 (31%). Коэффициент вариации по устойчивости к полеганию составил 0–27 %; так как у сортов. При этом у ряда линий данный показатель был равен 0 %, что указывает на стабильное проявление высокой устойчивости к полеганию в годы исследований. (Приложение И.2). Коэффициент вариации высоты растений у изученных линий яровой мягкой пшеницы селекции СІММУТ варьировал от 11 до 31 %, что несколько выше, чем у сортов, и свидетельствует о более выраженной генотипической изменчивости данного признака. Наиболее стабильной по высоте растений была линия №65 (11 %), а также относительно низкие значения коэффициента вариации отмечены у линий №221 (13 %), №35 и №178 (14 %). Наибольшая изменчивость по данному признаку выявлена у линий №215 (31 %) и №70 (29 %).

Коэффициент вариации устойчивости к полеганию у линий составил 0–27 %, что соответствует диапазону, установленному для сортов. У ряда линий данный показатель был равен 0 %, что указывает на стабильное проявление высокой устойчивости к полеганию в годы исследований. Максимальная изменчивость по

устойчивости к полеганию отмечена у линии №147 (27 %) (Приложение И.2). Наиболее стабильными по признаку устойчивости к полеганию оказались линии №35, №65, №67, №178 и №223, которые сохраняли максимальные баллы в разные годы. Эти линии, сочетая достаточную высоту с высокой устойчивостью, могут быть использованы как доноры в программах селекции устойчивых к полеганию сортов для условий с повышенным риском переувлажнения или сильных осадков в фазе налива зерна. Таким образом, несмотря на общее преобладание устойчивых к полеганию генотипов в коллекции СИММУТ, влияние погодных условий 2023 года позволило дифференцировать линии по стабильности данного признака, что представляет практический интерес для адаптивной селекции (рис. 3.4).

3.5 Оценка устойчивости сортов яровой мягкой пшеницы к грибным болезням

В условиях Центрального района Нечернозёмной зоны (ЦРНЗ) наибольшее значение для развития эпифитотий яровой пшеницы имеют такие грибные заболевания, как мучнистая роса (*Blumeria graminis*) и бурая ржавчина (*Puccinia triticina*), а с 2010 г. на посевы вернулась стеблевая ржавчина (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*), которая отсутствовала в регионе около 30 лет (Лапочкина и др., 2021). Погодные условия, включая повышение температуры и увлажнённости в критические фазы вегетации, способствуют ускорению жизненных циклов патогенов и могут вызывать увеличение их вирулентности и расширение спектра физиологических рас. В отдельные годы наблюдается эпифитотийное развитие других болезней, таких как септориоз листьев и фузариоз колоса. Эти заболевания наносят значительный урон: потери урожая могут достигать 50%, при этом зерно становится щуплым, с пониженными качественными характеристиками, и может быть непригодно для использования в пищевых и кормовых целях из-за накопления микотоксинов (Костерина, 2023). Полевые наблюдения за устойчивостью к болезням образцов яровой мягкой пшеницы проводили на изолированной Полевой опытной станции (г. Москва), удалённой от промышленных посевов, что обеспечивало возможность регистрации проявлений

болезней на естественном фоне без искусственного заражения. Это особенно важно для оценки устойчивости к патогенам, инокулом которых переносится ветром (виды ржавчины). Отсутствие признаков пыльной и твёрдой головки объясняется тем, что их возбудители распространяются преимущественно контактным путём и не способны преодолевать значительные расстояния с воздушными потоками (Zeleneva et al., 2021).

Оценку устойчивости к основным грибным заболеваниям проводили в условиях естественного фона в Центральном районе Нечернозёмной зоны. В 2024 году впервые за весь период наблюдений была зафиксирована высокая фитопатологическая нагрузка, обусловленная сочетанием тёплой и влажной погоды, что способствовало массовому развитию бурой и стеблевой ржавчины (рис.3.5).

Бурая ржавчина. В 2022 г. на опытных делянках признаков инфекции бурой ржавчины не выявлено, поэтому оценку не удалось провести. В 2023 г. заболевание зарегистрировали лишь у отдельных сортообразцов, при этом их оценки устойчивости варьировали от 7 до 9 баллов. Максимального распространения бурая ржавчина достигла в 2024 г. Тогда полную устойчивость (R, 7–9 баллов) продемонстрировали сорта Тулайковская 108 (гены *Lr19*, *Lr6*), Фаворит (*Lr6Agi*) и Л-57. Большинство сортообразцов, включая стандарт Злата, Саратовскую 74, Симбирцит и Тризо, показали умеренно выраженную устойчивость (MR, 5–6 баллов). Наиболее восприимчивыми (1–3 балла) оказались Учитель, Тобольская, Бомбона, Мандарина и Агата (рис.3.5; Приложение Б.6).

В среднем за 2023–2024 гг. подавляющее большинство сортообразцов показали умеренный уровень устойчивости к бурой (листовой) ржавчине (средняя оценка MR, 5–6 баллов), тогда как лишь четыре сорта – Тулайковская 108, Фаворит, Канюк и Золушка – сохранили высокую устойчивость (R, 7,0 баллов), а наиболее восприимчивым (S) оказался единственный сорт Бомбона с низкой устойчивостью на уровне 3,0 баллов (табл. 3.5).

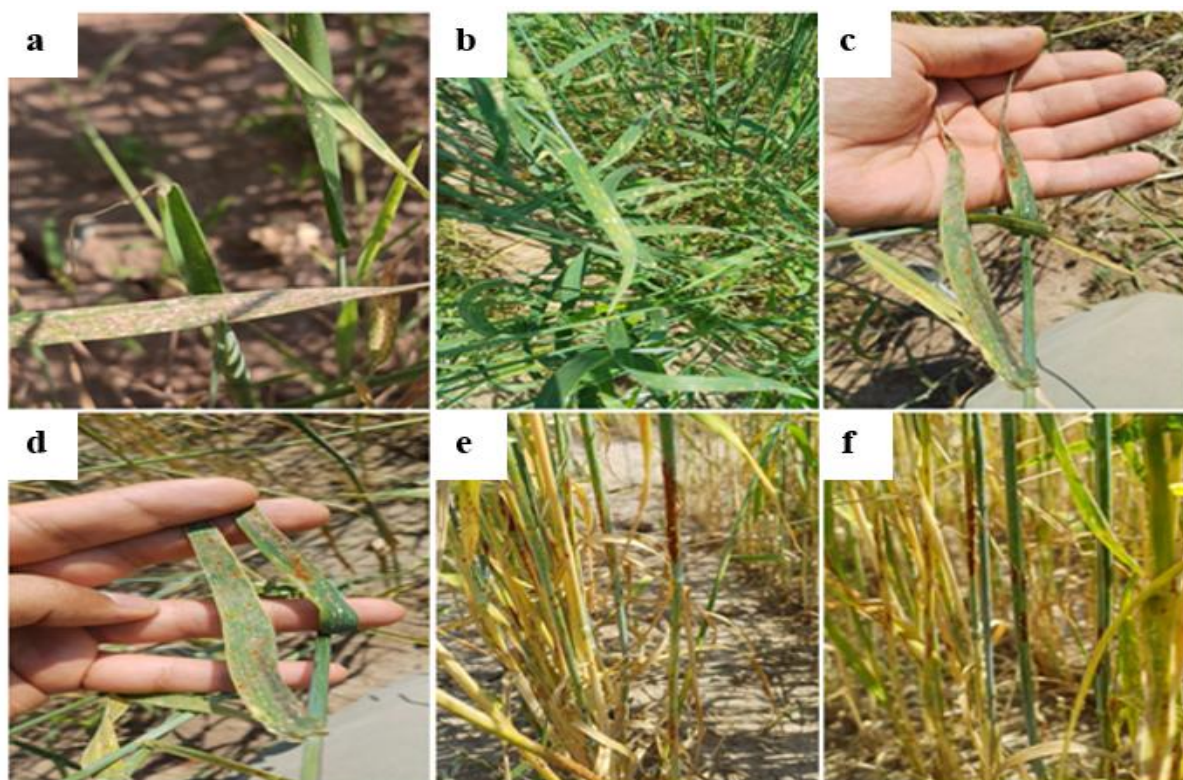


Рисунок 3.5 – Проявления: а, б – мучнистой росы (*Blumeria graminis*), с, d – бурой ржавчины (*Puccinia triticina*) и е, f – стеблевой ржавчины (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*), фотографии получены в ходе исследований на Полевой опытной станции РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева.

Для большинства изученных сортов из литературных источников известны некоторые гены устойчивости к бурой (листовой) ржавчине – *Lr*. Можно проследить, насколько они эффективно защищают сорта от штаммов бурой (листовой) ржавчины, имеющих распространение на изученной территории. Сорта Злата, Саратовская 74, Симбирцит, Ирень и Бомбона имеют ген *Lr10*. Видно, что у трех первых сортов действие этого гена однотипно в различные годы исследований и зависит от погодных условий. Однако у сортов Ирень и Бомбона он обеспечивает более низкий уровень устойчивости. Ген *Lr19* в сочетании с *Lr10* не увеличивает степень защиты сорта Агата. Тогда как в сочетании с геном *Lr6* он даёт стабильно высокую защиту сорту Тулайковская 108. Стабильность устойчивости по годам также обеспечивает ген *Lr6Agi* у сорта Фаворит. Комплексы из трех генов устойчивости не дают полной защиты сортам Маргарита и Тризо. Сорт Канюк содержит комплекс из двух генов *Lr20*, *Lr24*, обеспечивающих относительно высокую устойчивость сорта (табл. 3.5).

Коэффициент вариации устойчивости сортов яровой мягкой пшеницы к бурой ржавчине варьировал в широких пределах от 0 до 113 %, что свидетельствует о высокой изменчивости проявления данного признака по годам исследований. Такая вариабельность в значительной степени может быть связана с неравномерным развитием естественного инфекционного фона, поскольку в 2022 г. бурая ржавчина в полевых условиях не проявилась. У ряда сортов коэффициент вариации был равен 0 %, что указывает на стабильное проявление признака в годы исследований. К таким сортам относились Тулайковская 108, Фаворит, Ирень, Бомбона и Л-57 (Приложение И.1).

Таким образом, сопоставление известных генов и степени устойчивости сортов пшеницы по годам к бурой ржавчине показало, что наилучшую защиту в условиях ЦРНЗ обеспечивают гены *Lr19*, *Lr6*, *Lr6Agi* и *Lr20*, *Lr24*. Сорто-носители (Тулайковская 108, Фаворит и Канюк) могут быть использованы в качестве доноров при селекции новых сортов.

Стеблевая ржавчина. В 2024 году впервые за период наблюдений была зарегистрирована стеблевая ржавчина с различной степенью поражения сортов. Высокую устойчивость (R, 7–9 баллов) продемонстрировали сорта Тулайковская 108, Фаворит, Гранова и Канюк. Средняя устойчивость (MR, 5 баллов) была характерна для большинства изученных сортов: Злата, Саратовская 74, Агата, Тюменская 29, Гранни, Тризо, Ирень, Ласка, Л-57 и Золушка. Высокая восприимчивость (S, 3 балла) отмечена у сортов Обская 2, Тобольская, Алтайская Жница, Маргарита, а также сортов польской селекции Бомбона, Арабелла и Мандарина (табл.3.5).

Таблица 3.5 – Оценка устойчивости сортов яровой мягкой пшеницы к грибным болезням на естественном фоне в среднем за 2022–2024 гг.

Название	Устойчивость к грибным болезням, балл				Гены устойчивости по литературным данным	
	бурая ржавчина	стеблевая ржавчина	мучнистая роса	септориоз листьев	к бурой ржавчине	к мучнистой росе
Злата (st)	6,0	5,0	6,3	7,0	<i>Lr10</i>	
Саратовская 74	6,0	5,0	8,3	7,0	<i>Lr10</i>	
Агата	4,0	5,0	7,7	9,0	<i>Lr10, Lr19</i>	
Тулайковская 108	7,0	7,0	6,3	9,0	<i>Lr19, Lr6</i>	
Симбирцит	6,0	5,0	8,3	9,0	<i>Lr10</i>	
Тюменская 29	6,0	5,0	7,0	9,0	–	
Обская 2	6,0	3,0	5,7	9,0	–	
Тобольская	5,0	3,0	6,3	9,0	–	
Алтайская Жница	5,0	3,0	5,0	6,0	–	
Маргарита	5,0	3,0	7,0	7,0	<i>Lr49, Lr34, Lr10</i>	
Учитель	5,0	3,0	5,0	7,0	–	
Фаворит	7,0	7,0	7,7	7,0	<i>Lr6Agi</i>	
Гранни	6,0	5,0	6,3	9,0	<i>Lr21</i>	<i>Pm3d</i>
Тризо	5,0	5,0	6,3	7,0	<i>Lr2a, Lr18, Lr20</i>	<i>Pm1, Pm4b, Pm5</i>
Ирень	5,0	5,0	5,0	9,0	<i>Lr10</i>	
Бомбона	3,0	3,0	7,0	9,0	<i>Lr10</i>	
Ласка	5,5	5,0	8,3	9,0	–	
Арабелла	4,0	3,0	8,3	9,0	–	
Гранова	6,0	7,0	7,0	9,0	–	
Мандарина	4,0	3,0	8,3	7,0	–	
Канюк	7,0	9,0	6,3	7,0	<i>Lr20, Lr24</i>	
Л-57	5,0	5,0	7,7	9,0	–	
Золушка	7,0	5,0	1,7	9,0	–	

Мучнистая роса. На протяжении трех лет исследований наблюдалось стабильное развитие мучнистой росы, но с вариацией интенсивности поражения по годам. В 2022 году большинство сортов образцов показали средние или высокие уровни устойчивости (от 5 до 7 баллов), особенно восприимчивым оказался сорт Золушка (1 балл). В 2023 году наблюдалось усиление развития болезни у сортов Учитель и Золушка, показатели устойчивости которых были низкими (3 и 1 балл соответственно). В то же время высокую устойчивость (7–9 баллов) продемонстрировали сорта Саратовская 74, Симбирцит, Маргарита, Арабелла, Гранова и Канюк. В 2024 году произошло заметное улучшение общей картины устойчивости: практически все изученные сорта образцы продемонстрировали высокую устойчивость (7–9 баллов) (Приложение Б.6).

В среднем за три года наибольшую устойчивость (8,3 балла) имели сорта Саратовская 74, Симбирцит, Арабелла, Гранова и Канюк. Среднюю степень устойчивости (6–7 баллов) показали Тюменская 29, Обская 2 и Л-57. Восприимчивым (средний балл 1,7) образцом оказалась Золушка (Приложение Б.6).

Коэффициент вариации устойчивости к мучнистой росе у сортов изменялся от 0 до 55 %. Наиболее стабильное проявление данного признака отмечено у сортов Алтайская Жница, Ирень, Л-57 и Канюк, у которых коэффициент вариации был равен 0 %. Наибольшая изменчивость выявлена только у сорта Золушка (55 %), что свидетельствует о нестабильности (Приложение Б.6).

Септориоз листьев (*Septoria tritici*). Проявление септориоза наблюдалось, в основном, в 2024 году, в условиях высокой влажности. Почти все сорта образцы продемонстрировали высокую устойчивость (8–9 баллов), что указывает на благоприятный уровень толерантности к данному патогену в изученной коллекции. Исключением стал сорт Алтайская Жница (6 баллов), показавший среднюю степень устойчивости (табл. 3.5).

Подводя итог анализа устойчивости к болезням коллекции сортов яровой пшеницы, можно выделить отдельные сорта в качестве доноров стабильной по годам устойчивости к основным грибным болезням в условиях ЦРНЗ. Так, комплексной устойчивостью к бурой ржавчине и мучнистой росе обладают сорта

Фаворит, Ласка и Гранова. Донорами генов устойчивости к мучнистой росе могут быть сорта Саратовская 74, Агата, Симбирцит, Тюменская 29, Маргарита, Бомбона, Арабелла и Мандарина. Донорами генов устойчивости к бурой (листовой) ржавчине – Тулайковская 108, Канюк и Золушка. Донорами генов устойчивости к стеблевой ржавчине могут служить сорта Тулайковская 108, Фаворит, Гранова и Канюк.

3.6 Устойчивость линий яровой мягкой пшеницы селекции CIMMYT к грибным болезням

Селекционные линии CIMMYT, благодаря использованию диких родственников и широкому генетическому разнообразию, обладают высоким потенциалом устойчивости, особенно в отношении таких опасных болезней, как бурая и стеблевая ржавчина. Это позволяет эффективно интегрировать новые гены устойчивости в селекционные программы. В ходе трёхлетних полевых испытаний на Полевой опытной станции РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева были изучены линии CIMMYT.

Бурая ржавчина. В 2022 году признаки поражения бурой ржавчиной на полях опытной станции полностью отсутствовали из-за неблагоприятных условий для развития патогена. В 2023 году наблюдалось умеренное развитие инфекции, при котором большинство линий сохраняли высокие баллы устойчивости (7–9 баллов). Однако наибольшее развитие болезни было отмечено в 2024 году, обусловленное высокой влажностью и повышенной температурой воздуха в фазу цветения и молочной спелости растений (Приложение Б.7).

В результате наибольшую устойчивость к бурой ржавчине продемонстрировали линии CIMMYT №23, №35, №59, №65, №66, №67, №70, №79, №147, №150, №151, №152, №153, №178, №187, №215, №217, №220, №221 и №223, которые сохраняли высокий уровень устойчивости (R), со средними баллами 7–9 за оба года оценки (табл. 3.6). Линия №35 (9 баллов оба года), линия №67 (9 баллов оба года) и линия №187 (8–9 баллов) оказались особенно перспективными донорами генов устойчивости. Умеренную устойчивость (MR, 5–6 баллов) имели отдельные сортообразцы, например, стандартный сорт Злата, демонстрируя

необходимость поиска дополнительных источников устойчивости (табл. 3.6; Приложение Б.7).

Мучнистая роса. По устойчивости к мучнистой росе линии CIMMYT уступали набору европейских и отечественных сортов и демонстрировали переменные результаты по годам (Приложение Б.7). Несмотря на хорошие показатели устойчивости к ржавчинам, селекционные линии CIMMYT продемонстрировали различную степень устойчивости к мучнистой росе. В целом они уступали сортам российского и зарубежного происхождения. Наиболее устойчивыми к мучнистой росе за трёхлетний период были линии №23, №65, №70, №178, №187 и №215, показывая средние оценки устойчивости выше 7 баллов, что соответствует высокому уровню (R). Напротив, наименее устойчивыми (S, средние баллы ниже 4) оказались линии №35, №66, №79, №150, №152 и №223 (табл. 3.6).

Стеблевая ржавчина. В программах CIMMYT особое внимание уделяют устойчивости к стеблевой ржавчине, вследствие быстрого распространения агрессивного штамма Ug99 из Уганды (Hiebert et al. 2010; Singh et al. 2011; Волкова и др., 2020).

В связи с этим, данные по реакции линий CIMMYT на это заболевание приобретают особую значимость. По результатам наблюдений 2024 года, линии №23, №35, №59, №65, №66, №67, №147, №187, №215 и №221 продемонстрировали высокий уровень устойчивости (R, 7–9 баллов), что подчёркивает их большую перспективность для селекционных программ. Линии №70 и №150 проявили сильную восприимчивость (S, 1–3 балла), что указывает на их непригодность для использования в селекции по устойчивости к данному заболеванию (табл. 3.6).

Септориоз листьев. Развитие септориоза в годы исследований носило слабый характер: в 2022–2023 гг. заболевание практически не проявлялось, что не позволило провести полноценную дифференциацию образцов по уровню устойчивости, а в 2024 году эпифитотийный фон также не был высоким, при этом большинство линий продемонстрировали высокую устойчивость (7–9 баллов), что свидетельствует о наличии генетически обусловленной толерантности к данному патогену (табл. 3.6).

Подводя итог анализа устойчивости к грибным болезням линий яровой пшеницы селекции СИММУТ, можно отметить, что наиболее стабильной и комплексной устойчивостью к бурой и стеблевой ржавчине, а также мучнистой росе характеризуются линии №23, №59, №65 и №215. Высокой устойчивостью к мучнистой росе в разные годы выделялись линии №65, №70, №178 и №215. К бурой ржавчине устойчивыми по большинству лет оказались практически все изученные линии, особенно №23, №35, №65, №67, №215 и №221. Устойчивость к стеблевой ржавчине (2024 г.) проявили линии №23, №35, №59, №65, №67, №187 и №221 (табл. 3.6).

В целом, линии СИММУТ, созданные в условиях засушливой зоны Мексики, изначально формировались с приоритетом устойчивости к расам бурой и стеблевой ржавчины, что подтверждается их высокой и стабильной оценкой по данным заболеваниям; при этом в условиях региона происхождения мучнистая роса не является доминирующей болезнью из-за сухого климата и недостатка продолжительных влажных периодов, поэтому отбор на данный признак был менее выражен. В условиях ЦРНЗ, где наблюдаются колебания температуры и повышенная обеспеченность осадками, создаются благоприятные условия для развития мучнистой росы, что позволило выявить дифференциацию линий по устойчивости; несмотря на это, часть образцов проявила низкую либо повышенную устойчивость, что свидетельствует о наличии у них определённого генетического потенциала толерантности.

Коэффициент вариации устойчивости к бурой ржавчине у изученных линий селекции СИММУТ варьировал от 0 до 71%, что свидетельствует о различной степени стабильности проявления данного признака. Наиболее стабильное проявление устойчивости отмечено у линий №23, №35, №65 и №67, у которых коэффициент вариации был равен 0%. Умеренная изменчивость признака выявлена у линий №59, №66, №70, №147, №151, №215, №221 и №223 (18%). Наибольшая изменчивость устойчивости к бурой ржавчине отмечена у линий №150 и №220 (71%), что указывает на нестабильность (Приложение И.2). Коэффициент вариации устойчивости к мучнистой росе у линий селекции СИММУТ изменялся от 0 до 67

%. Наиболее стабильное проявление данного признака отмечено у линий №151 и №215, у которых коэффициент вариации был равен 0 %. Максимальная изменчивость выявлена у линий №66 и №152 (67 %), что свидетельствует о нестабильной реакции этих генотипов на поражение мучнистой росой в годы исследований (Приложение И.2).

Таким образом, линии СИММУТ представляют собой ценные источники устойчивости к ржавчинам, особенно бурой и стеблевой, и являются перспективными донорами для создания устойчивых сортов.

Таблица 3.6 – Оценка устойчивости линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ к грибным болезням на естественном фоне в среднем за 2022–2024 гг.

Название	Устойчивость к грибным болезням, балл			
	бурая ржавчина	стеблевая ржавчина	мучнистая роса	септориоз листьев
Злата (st)	6,0	5,0	6,3	9,0
Линия №23	9,0	9,0	9,0	7,0
Линия №35	9,0	9,0	5,0	7,0
Линия №59	8,0	9,0	7,0	9,0
Линия №65	9,0	9,0	9,0	9,0
Линия №66	8,0	7,0	5,0	9,0
Линия №67	9,0	9,0	5,0	9,0
Линия №70	8,0	1,0	7,0	9,0
Линия №79	7,0	3,0	5,0	9,0
Линия №147	8,0	7,0	5,0	6,0
Линия №150	6,0	1,0	3,0	7,0
Линия №151	8,0	5,0	5,0	7,0
Линия №152	7,0	5,0	5,0	7,0
Линия №153	7,0	5,0	5,0	9,0
Линия №178	7,0	3,0	5,0	7,0
Линия №187	7,0	9,0	7,0	9,0
Линия №215	8,0	7,0	7,0	9,0
Линия №217	7,0	5,0	5,0	9,0
Линия №220	6,0	3,0	5,0	9,0
Линия №221	8,0	9,0	7,0	9,0
Линия №223	8,0	7,0	3,0	7,0

3.7 Урожайность и элементы ее структуры

3.7.1 Оценка сортов яровой мягкой пшеницы по урожайности и основным элементам структуры урожая

В многочисленных исследованиях неоднократно было установлено, что урожайность пшеницы зависит от некоторых ключевых элементов структуры, таких, как продуктивная кустистость, число и масса зерен с колоса (Багавиева и др., 2009; Стасюк и др., 2021). Наиболее значимыми являются число и масса зерен с колоса, поэтому в данной работе приводятся только эти элементы (табл. 3.7).

Урожайность пшеницы является результирующим признаком, который определяет результаты селекционной работы. Несмотря на многочисленные исследования, посвящённые этому параметру, проблема повышения урожайности остаётся актуальной задачей, в связи с возрастающими требованиями к продовольственной безопасности. В связи с этим, требуется внимательное изучение и подбор исходного материала для создания новых высокоурожайных сортов для конкретной зоны.

В 2022 году сложились наиболее благоприятные агроклиматические условия, обеспечившие максимальный уровень урожайности по сравнению с последующими годами исследований. Урожайность стандарта Злата составила 423,0 г/м². При $НСР_{05} = 139,9$ г/м² достоверное превышение стандарта (Злата + $НСР_{05}$ 562,9 г/м²) зафиксировано только у сортов Маргарита (717,0 г/м²) и Мандарина (584,8 г/м²). Остальные сорта, включая Симбирцит (483,5 г/м²), Обская 2 (469,3 г/м²), Тобольская (497,4 г/м²), Фаворит (498,8 г/м²), Гранни (500,7 г/м²) и Ласка (527,0 г/м²), хотя и характеризовались высокими показателями, статистически не отличались от стандарта. Минимальная урожайность отмечена у сортов Золушка (284,2 г/м²) и Тулайковская 108 (294,4 г/м²) (Приложение В.1).

В 2023 году наблюдалось общее снижение урожайности вследствие менее благоприятных погодных условий. Урожайность стандарта составила 272,1 г/м² при $НСР_{05} = 52,9$; достоверное превышение (более 325,0 г/м²) отмечено только у сорта Маргарита (353,7 г/м²). Показатели остальных сортов статистически не

отличались от стандарта. Наименьшую урожайность сформировали сорта Золушка (130,5 г/м²), Гранова (193,3 г/м²), Фаворит (201,4 г/м²) и Учитель (219,4 г/м²) (Приложение В.1).

В 2024 году урожайность варьировала в пределах 161,8–397,5 г/м². При значении стандарта 308,7 г/м² и $НСР_{05} = 58,8$, достоверное превышение (более 367,5 г/м²) установлено только у сорта Обская 2 (397,5 г/м²). Сорта Тулайковская 108, Алтайская Жница и Арабелла сформировали высокую урожайность на уровне стандарта. Многие сорта, в предыдущие годы показавшие высокие результаты, в 2024 году сильно уступили стандарту, например, Маргарита. Возможно, этому способствовало сильное поражение болезнями. Минимальные значения зафиксированы у сортов Золушка (161,8 г/м²) и Учитель (164,6 г/м²) (Приложение В.1). В среднем за 2022–2024 гг. урожайность стандарта составила 334,6 г/м² при $НСР_{05} = 95,9$. (Приложение В.1).

Коэффициент вариации урожайности у изученных сортов яровой мягкой пшеницы варьировал от 19 до 57 %, что свидетельствует о высокой изменчивости данного признака по годам исследований и его значительной зависимости от условий среды. Наименьшая изменчивость урожайности отмечена у сорта Тулайковская 108 (19 %), а также у сортов Алтайская Жница (22 %), Л-57 и Арабелла (24 %). Наибольшие значения вариации выявлены у сортов Учитель и Фаворит (57 %), а также Маргарита (55 %), что указывает на менее стабильное проявление урожайности у данных генотипов (Приложение И.2.).

Таким образом, наиболее продуктивными в течение трех лет были сорта Саратовская 74, Тулайковская 108, Симбирцит, Тюменская 29, Обская 2, Тобольская, Алтайская Жница, Маргарита, Фаворит, Гранни, Тризо, Ирень, Ласка, Арабелла, Мандарина и Канюк, тогда как сорт Золушка характеризовался наименьшей урожайностью на протяжении всего периода исследований (табл. 3.7).

Число зерен с колоса является важным элементом структуры урожая, который тесно связан с урожайностью.

В 2022 г. число зерен с колоса у сортов варьировало от 24 до 43 штук. У стандарта Злата число зёрен составило 30 шт. При $НСР_{05} = 5,8$ достоверное

превышение стандарта наблюдается при значении более 35,8 шт. у сортов Агата (39,0 шт.), Маргарита (37,0 шт.), Бомбона (37,7 шт.), Ласка (38,7 шт.) и Мандарина (43,0 шт.). Наименее озёрнёнными были колосья сортов Тулайковская 108 (24,0 шт.), Алтайская Жница (26,7 шт.) и Арабелла (25,7 шт.). У остальных сортов число зёрен находилось в пределах 28,0–35,7 шт. на уровне стандарта Злата (табл. 3.7). При этом обнаружена достоверная положительная связь средней силы с урожайностью ($r=0,506^*$). То есть в 2022 году элемент структуры урожая – число зерен с колоса мог быть маркером высокой урожайности яровой пшеницы (Приложение В.1).

В 2023 г. в условиях засухи в критические фазы развития у большинства сортов наблюдалось снижение озёрнённости колоса по сравнению с 2022 г. Число зёрен с колоса варьировало от 17,0 до 32,5 шт. У сорта-стандарта Злата показатель составил 28,0 шт.; при $НСР_{05} = 6,7$ достоверное превышение стандарта не выявлено. Максимальные значения показателя имели сорта Саратовская 74 (28,5 шт.), Агата (32,5 шт.), Бомбона (31,3 шт.), Л-57 (32,1 шт.), Ласка (30,4 шт.), Мандарина (30,0 шт.) и Гранни (30,3 шт.). Наименьшей озёрненностью колоса характеризовались сорта Гранова (17,0 шт.), Золушка (22,2 шт.), Симбирцит (23,8 шт.), Ирень (24,0 шт.) и Тулайковская 108 (24,4 шт.), что указывает на выраженное снижение озёрнённости в условиях засухи (табл. 3.7). И, как итог, урожайность слабо коррелировала с озёрненностью колоса ($r=0,310$). Таким образом, озёрненность колоса в условиях засухи не может быть маркером высокой урожайности яровой пшеницы (Приложение В.1).

В 2024 году отмечено дальнейшее снижение озёрнённости колоса по сравнению с предыдущими годами, что обусловлено не только абиотическими стрессами, но и повышенной инфекционной нагрузкой (прежде всего бурой и стеблевой ржавчиной). Число зёрен с главного колоса варьировало от 19,2 до 26,9 шт. У стандарта Злата показатель составил 20,4 шт. При $НСР_{05} = 5,9$ достоверно превзошёл стандарт только сорт Л-57 (26,9 шт.). У остальных образцов достоверных различий со стандартом не установлено (табл. 3.7). Аналогично предыдущему году, урожайность коррелировала с числом зерен с колоса слабо

положительно ($r=0,404$), что не позволяет считать показатель надёжным прогностическим признаком (Приложение В.1).

Анализ средних значений за трёхлетний период (2022–2024 гг.) показал, что число зёрен с главного колоса варьировало от 23,4 до 33,0 шт. (табл. 3.7). У стандарта Злата среднее значение составило 26,1 шт.; при $НСР_{05} = 9,2$ достоверное превышение стандарта наблюдается при показателе свыше 35,3 шт. Сорта Агата (31,1 шт.), Бомбона (30,3 шт.), Л-57 (30,3 шт.), Ласка (30,9 шт.) и Мандарина (33,0 шт.) характеризовались наибольшей озерненностью колоса в опыте, однако достоверного превышения над стандартом не установлено (табл. 3.7). Выявлена слабая положительная корреляционная связь по усреднённым данным урожайности и озерненности колоса ($r=0,169$).

Коэффициент вариации числа зерен с главного колоса у сортов изменялся от 1 до 35 %. Наиболее стабильным по данному признаку был сорт Тулайковская 108 (1 %), а также относительно низкие значения отмечены у сортов Арабелла (4 %), Алтайская Жница (5 %) и Тобольская (6 %). Максимальная изменчивость числа зерен с главного колоса выявлена у сорта Гранова (35 %), а также у сортов Маргарита (29 %) и Агата (28 %) (Приложение И.1).

Таким образом, для данного набора сортов яровой пшеницы такой элемент структуры урожая как озерненность колоса не может служить надёжным прогностическим признаком высокой урожайности в условиях ЦРНЗ с постоянно и резко изменяющимися метеорологическими условиями вегетационного периода (табл. 3.7).

Масса зерен с колоса представляет собой ключевой морфологический маркер, используемый в селекционной работе для отбора и создания высокопродуктивных сортов пшеницы (Антошина, 2000).

В 2022 году масса зерна с главного колоса варьировала от 0,9 до 1,7 г (табл. 3.7). У стандарта Злата данный показатель составил 1,2 г; при $НСР_{05}=0,29$ достоверное превышение наблюдается при значении более 1,49 г. Достоверно превысили стандарт сорта Агата (1,5 г), Маргарита (1,7 г), Учитель (1,7 г), Фаворит (1,5 г), Гранни (1,5 г), Бомбона (1,5 г), Ласка (1,6 г) и Мандарина (1,6 г).

Минимальные значения отмечены у сорта Арабелла (0,9 г), тогда как у Тулайковской 108, Л-57 и Золушки показатель находился на уровне стандарта или незначительно отличался от него. Обнаружена положительная достоверная корреляционная связь этого элемента структуры с урожайностью ($r=0,691^{**}$), что говорит о его возможном прогностическом значении (Приложение В.1).

В 2023 году масса зерна с колоса изменялась в пределах 0,9–1,6 г. При значении стандарта 1,4 г и $НСР_{05} = 0,4$ достоверное превышение отмечено только у сорта Тризо (1,6 г). У сортов Гранни и Канюк (по 1,5 г) различия со стандартом были статистически недостоверными. Минимальные значения выявлены у Золушки и Грановой (0,9 г) (табл. 3.7). Тем не менее, выявлена существенная корреляция с урожайностью ($r=0,615^{**}$), что говорит о возможности использования этого показателя для прогноза высокой урожайности (Приложение В.1).

В 2024 году показатель существенно снизился и варьировал от 0,5 до 1,0 г, что связано с высоким инфекционным фоном грибных болезней. При значении стандарта 0,7 г и $НСР_{05} = 0,3$ достоверное превышение (более 1,0 г) не установлено. Наибольшие значения (0,9–1,0 г) отмечены у сортов Обская 2 и Канюк (по 0,9 г), однако статистически они не отличались от стандарта. Минимальное значение зафиксировано у сорта Золушка 0,5 г (Приложение В.1). В 2024 году также обнаружена корреляция массы зерна с колоса с урожайностью ($r=0,579^{**}$).

Анализ средних за 2022–2024 гг. показал, что при значении стандарта 1,1 г и $НСР_{05} = 0,6$ достоверных различий между сортами не выявлено. Наибольшие средние значения (1,3 г) отмечены у сортов Обская 2, Маргарита, Гранни и Канюк. В целом большинство сортов характеризовались уровнем 1,1–1,2 г. Наименьший средний показатель отмечен у сорта Золушка (0,8 г) (табл. 3.7). При этом корреляция между усредненными значениями урожайности и массы зерен с колоса составила ($r=0,530^{*}$), что говорит о возможности использования этого элемента структуры урожая в качестве маркера высокой урожайности яровой пшеницы в условиях ЦРНЗ. Коэффициент вариации массы зерна с главного колоса у сортов варьировал от 10 до 38 %, что свидетельствует о различной степени стабильности

данного элемента продуктивности. Наиболее стабильным по массе зерна с главного колоса был сорт Тулайковская 108 (10 %), а также сорт Л-57 (14 %). Наибольшая изменчивость данного признака отмечена у сортов Учитель, Тризо и Ласка (38 %), а также у сортов Агата и Бомбона (36 %) (Приложение И.1).

Таблица 3.7 – Урожайность и основные элементы структуры урожая сортов яровой мягкой пшеницы в среднем за 2022–2024 гг.

Название	Урожайность, г/м ² ,	Число зерен с главного колоса, шт	Масса зерна с главного колоса, г
Злата (st)	334,6	26,1	1,1
Саратовская 74	315,6	26,3	1,2
Агата	291,9	31,1	1,2
Тулайковская 108	304,0	24,1	1,1
Симбирцит	355,4	24,8	1,1
Тюменская 29	314,8	25,9	1,1
Обская 2	375,2	27,0	1,3
Тобольская	362,3	25,8	1,1
Алтайская Жница	340,5	25,5	1,1
Маргарита	441,2	28,0	1,3
Учитель	283,5	27,4	1,2
Фаворит	301,8	28,0	1,1
Гранни	327,1	28,2	1,3
Тризо	311,9	26,4	1,2
Ирень	316,5	25,6	1,0
Бомбона	279,2	30,3	1,2
Л-57	256,5	30,3	1,1
Ласка	352,3	30,9	1,2
Арабелла	362,6	25,6	1,0
Гранова	288,9	24,6	1,1
Мандарина	382,3	33,0	1,2
Золушка	192,2	23,4	0,8
Канюк	321,7	26,9	1,3
НСР ₀₅	95,9	5,3	0,3
коэффициент корреляции с урожайностью (r)		0,169	0,530*

Таким образом, результаты нашего исследования свидетельствуют о том, что ряд сортов Обская 2, Маргарита, Гранни и Канюк можно использовать в качестве надёжного исходного материала в селекции яровой пшеницы. Наибольшей озернёностью колоса за 2022–2024 гг. характеризовались Мандарина (33,0 шт.), Агата (31,1), Ласка (30,9), Бомбона и Л-57 (по 30,3 шт.) против 26,1 шт. у стандарта Злата. При НСР₀₅ = 5,3 шт., рассчитанной для средних за три года, достоверно

превысила стандарт Мандарина; остальные перечисленные сорта устойчиво превосходили стандарт по величине признака, но различие не достигало уровня значимости (табл. 3.7).

По массе зерна с колоса наиболее высокие средние показатели отмечены у сортов Обская 2, Маргарита, Гранни и Канюк (1,3 г). По уровню средней урожайности за три года исследований Маргарита (441,2 г/м²), Мандарина (373,3 г/м²), Обская 2 (375,2 г/м²), Тобольская (362,3 г/м²) и Арабелла (362,6 г/м²) были на уровне стандарта Злата (334,6 г/м²), достаточную массу зерна с колоса и повышенную урожайность, что подтверждает их селекционную ценность в условиях ЦРНЗ. Элемент структуры урожая масса зерна с колоса можно использовать для прогноза высокой урожайности яровой пшеницы.

3.7.2 Оценка линий СИММУТ яровой мягкой пшеницы по урожайности и основным элементам структуры урожая

Урожайность является ключевым интегральным показателем, определяющим хозяйственную ценность сорта, поскольку отражает совокупное влияние генотипа и условий среды на продуктивность растений. В рамках исследования проведена сравнительная оценка урожайности синтетических гексаплоидных линий СИММУТ за 2022–2024 гг., что позволило выявить наиболее продуктивные и адаптивные генотипы для условий ЦРНЗ (Приложение В.2).

2022 год характеризовался наиболее благоприятными агроклиматическими условиями, что обеспечило формирование максимальных значений урожайности. Урожайность варьировала от 352,3 до 445,6 г/м². Стандарт Злата сформировал 423,0 г/м²; при НСР₀₅ = 74,0 достоверное превышение наблюдается при значении выше 497,0 г/м². Следовательно, ни одна из линий достоверно не превысила стандарта. Относительно высокую урожайность сформировали линии №23 (435,9 г/м²), №66 (443,8 г/м²), №79 (426,4 г/м²), №147 (438,9 г/м²), №178 (442,3 г/м²) и №223 (445,6 г/м²), что свидетельствует о высоком потенциале продуктивности в благоприятных условиях. Минимальные значения отмечены у линий №150 (357,7 г/м²) и №220 (352,3 г/м²) (Приложение В.2).

В 2023 году наблюдалось общее снижение урожайности вследствие менее благоприятных погодных условий. Показатели варьировали от 148,3 до 310,7 г/м². Урожайность стандарта составила 272,1 г/м²; при $HCp_{05} = 36,0$ достоверное превышение фиксировалось при уровне выше 308,1 г/м². Достоверно превысила стандарт только линия №223 (310,7 г/м²). Большинство линий характеризовались снижением продуктивности, а линии №65 (181,2 г/м²), №151 (148,3 г/м²) и №67 (169,5 г/м²) достоверно уступали стандарту. Относительно стабильные показатели, близкие к стандарту, сформировали линии №23, №215 и №220 (Приложение В.2).

В 2024 году урожайность варьировала от 146,0 до 310,2 г/м². Стандарт сформировал 308,7 г/м²; при $HCp_{05} = 73,7$ достоверное превышение наблюдается при уровне выше 382,4 г/м². Таким образом, ни одна линия достоверно не превысила стандарт. Наиболее высокую урожайность сформировали линии №178 (310,2 г/м²), №79 (261,3 г/м²), №23 (237,4 г/м²) и №153 (272,0 г/м²). Минимальные значения отмечены у линий №65 (146,0 г/м²), №220 (156,1 г/м²) и №67 (155,2 г/м²) (Приложение В.2).

Анализ средних по годам значений показал, что при средней урожайности стандарта 334,6 г/м² и $HCp_{05} = 188,5$ достоверных различий между линиями и стандартом не выявлено. Тем не менее относительно высокими средними показателями характеризовались линии №223 (339,2 г/м²), №178 (319,5 г/м²), №23 (303,2 г/м²), №79 (286,5 г/м²) и №215 (285,3 г/м²), что свидетельствует о сочетании сравнительно высокой продуктивности и адаптивности (табл. 3.7.2).

Коэффициент вариации урожайности у линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ варьировал от 28 до 61 %, что свидетельствует о высокой изменчивости данного признака по годам исследований и значительной зависимости урожайности от условий среды. Наименьшая изменчивость урожайности отмечена у линии №223 (28 %), а также у линий №70 и №153 (31 %), что указывает на относительно более стабильное проявление данного признака. Наибольшие значения коэффициента вариации выявлены у линий №67 (61 %), №65 (55 %), №66 (52 %) и №152 (51 %), что свидетельствует о менее стабильной урожайности у этих генотипов в разные годы (Приложение И.2).

Число зерен с колоса. В 2022 г. число зёрен с главного колоса в синтетических гексаплоидных линиях CIMMYT варьировало от 24,0 до 38,7 шт. У стандарта Злата данный показатель составил 30,0 шт. При $HCp_{05} = 6,1$ достоверно превосходили стандарт линии №178 (38,0 шт.) и №223 (38,7 шт.). Повышенной озернёностью на уровне стандарта характеризовались линии №79 (34,7 шт.) и №187 (34,3 шт.). Минимальные значения отмечены у линий №65 (24,0 шт.), №59 (26,0 шт.) и №35 (26,3 шт.) (3.7.2). Выявлена слабая положительная корреляционная связь показателя с урожайностью ($r=0,370$), что говорит о его невысокой надежности для прогноза высокоурожайных форм яровой пшеницы (Приложение В.2).

В 2023 г. в условиях засушливого периода в критические фазы формирования урожая отмечается общее снижение озернённости. Значения показателя варьировали от 16,4 до 36,7 шт., у стандарта 28,0 шт. и $HCp_{05} = 6,8$. Достоверно превосшла стандарт только линия №187 (36,7 шт.). Линии №67 (33,9 шт.) и №178 (31,9 шт.) отличались повышенной озернёностью на уровне стандарта. Существенно более низкие показатели отмечены у линий №65 (16,4 шт.), №59 (21,2 шт.) и №152 (17,8 шт.) (3.7.2). Корреляция с урожайностью составила 0,469*, что показывает достоверное влияние этого элемента структуры урожая (Приложение В.2).

В 2024 г. число зёрен с колоса варьировало в пределах 14,6 – 32,0 шт., составив у стандарта 20,4 шт. При $HCp_{05} = 7,9$ достоверно превосходили стандарт линии №79 (31,6 шт.) и №178 (32,0 шт.). На уровне стандарта были линии №147 (29,2 шт.) и №153 (29,6 шт.). Минимальная озернёность выявлена у линий №65 (14,6 шт.), №215 (16,0 шт.) и №221 (15,5 шт.) (3.7.2). Выявлена достоверная корреляционная связь показателя с урожайностью ($r=0,548^*$), что позволяет использовать его в качестве морфологического маркера высокой урожайности (Приложение В.2).

Анализ средних данных за 2022–2024 гг. показал, что достоверные различия между линиями и стандартом отсутствовали. Тем не менее, наиболее высокой озернёностью отличались линии №178 (34,0 шт.), №79 (31,5 шт.), №187 (31,3 шт.), №223 (31,4 шт.) и №67 (29,9 шт.), что свидетельствует об их высоком потенциале

формирования продуктивности. Наиболее низкие средние значения отмечены у линий №65 (18,3 шт.), №59 (22,6 шт.) и №217 (23,9 шт.) (табл. 3.7.2). Корреляция между усредненными значениями урожайности и озерненности колоса составила 0,465*, что говорит о высокой прогностической способности этого элемента структуры урожая для данного набора линий в условиях ЦРНЗ.

Коэффициент вариации числа зерен с главного колоса у линий составил 6–39 %. Наиболее стабильными по данному признаку были линии №35 (6 %), №23 (8 %), №70 и №147 (9 %). Максимальная изменчивость отмечена у линий №152 (39 %), №215 (33 %) и №221 (31 %), что указывает на более сильную зависимость озерненности главного колоса от условий года (Приложение И.2).

Таким образом, наиболее стабильной и повышенной озернённостью в различные годы исследований характеризовалась линия №178, что позволяет рассматривать её как перспективный источник данного признака в селекции.

Масса зерна с колоса. В 2022 г. масса зерна с главного колоса у изученных линий варьировала от 1,0 до 1,6 г (табл. 3.7.2). У стандарта Злата данный показатель составил 1,2 г; при $НСР_{05} = 0,4$ достоверное превышение отмечалось при значении более 1,6 г. Следовательно, статистически значимого превышения над стандартом в 2022 г. не выявлено, поскольку максимальные значения (1,5–1,6 г) у линий №67, №79, №152, №153, №178, №187 и №223 находились на уровне или ниже порога достоверности. Минимальное значение (1,0 г) отмечено у линии №59. У остальных линий масса зерна с колоса находилась в пределах 1,2–1,4 г и статистически не отличалась от стандарта (Приложение Л). Выявлена положительная слабая корреляционная связь показателя с урожайностью ($r=0,337$).

В 2023 г. масса зерна с колоса варьировала от 1,0 до 2,0 г. При значении стандарта 1,4 г и $НСР_{05} = 0,4$ достоверное превышение наблюдалось только у линии №187 (2,0 г). Неплохие значения показателя сформировались у линий №215 (1,7 г), №35 (1,5 г), №67 и №223 (1,6 г). Минимальные показатели (1,0–1,1 г) отмечены у линий №59, №65, №150, №151 и №217. У большинства линий масса зерна находилась в пределах 1,2–1,4 г (табл.3.7.2). У набора линий выявлена слабая

положительная корреляция с урожайностью ($r=0,393$), что указывает на невысокую прогностическую способность показателя (Приложение И.2).

В 2024 г. отмечено общее снижение показателя вследствие неблагоприятных условий года на фоне эпифитотии ржавчинных болезней. Масса зерна с колоса варьировала от 0,5 до 1,2 г. При значении стандарта 0,7 г и $НСР_{05} = 0,5$ г статистически значимых различий в 2024 г. не выявлено. Повышенные значения (1,0–1,2 г) отмечены у линий №23, №35, №70, №79, №147, №153 и №178. Минимальные показатели зарегистрированы у линий №65 (0,6 г), №215 (0,6 г) и №221 (0,5 г) (табл.3.7.2).

Выявлена достоверная корреляция массы зерна с колоса с урожайностью ($r = 0,568^*$). Влияние этого показателя на урожайность проявляется только в максимально неблагоприятных условиях у изученных линий.

Таблица 3.7.2 – Урожайность и основные элементы структуры урожая линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ в среднем за 2022–2024 гг.

Название	Урожайность, г/м ² ,	Число зерен с главного колоса, шт	Масса зерна с главного колоса, г
Злата (st)	334,6	26,1	1,1
Линия №23	303,2	26,6	1,2
Линия №35	268,7	27,3	1,2
Линия №59	283,0	22,6	0,9
Линия №65	238,5	18,3	1,0
Линия №66	277,8	26,7	1,1
Линия №67	250,8	29,9	1,3
Линия №70	285,7	29,9	1,3
Линия №79	286,5	31,5	1,3
Линия №147	303,5	30,0	1,2
Линия №150	260,4	27,1	1,1
Линия №151	266,6	24,2	1,1
Линия №152	252,6	25,7	1,2
Линия №153	279,9	27,5	1,3
Линия №178	319,5	34,0	1,4
Линия №187	266,2	31,3	1,4
Линия №215	285,3	26,0	1,2
Линия №217	289,4	23,9	1,1
Линия №220	257,1	26,9	1,1
Линия №221	255,4	24,0	1,0
Линия №223	339,2	31,4	1,3
НСР ₀₅	188,5	8,9	0,6
коэффициент корреляции с урожайностью (r)		-	0,300

Анализ средних данных за 2022–2024 гг. показал, что при среднем значении стандарта 1,1 г и $НСР_{05} = 0,6$ достоверное превышение ($>1,7$ г) отсутствовало. Тем не менее наибольшими значениями отличались линии №67, №70, №79, №153, №178, №187 и №223 (1,3–1,4 г), что свидетельствует о повышенном уровне признака. Достоверно более низкое значение по сравнению со стандартом отмечено у линии №59 (0,9 г). Достоверной корреляционной связи усредненных по годам значений показателя с урожайностью не выявлено ($r=0,300$). Следовательно, наиболее перспективными по массе зерна с главного колоса следует считать линии №178, №187, №79 и №67, отличающиеся высокими показателями в различные годы исследований. Они могут быть рекомендованы в качестве исходного материала в селекции яровой мягкой пшеницы (табл. 3.7.2).

Коэффициент вариации массы зерна с главного колоса у линий варьировал от 14 до 46 %, что свидетельствует о различной степени стабильности данного элемента продуктивности. Наиболее стабильное проявление признака отмечено у линий №23 и №151 (14 %), а также у линии №178 (15 %). Наибольшая изменчивость массы зерна с главного колоса выявлена у линий №215 (46 %), №187 (43 %) и №221 (40 %) (Приложение И.2).

Таким образом, линии СИММУТ характеризуются значительной межгодовой изменчивостью урожайности, что подтверждает высокую зависимость данного показателя от погодных условий ЦРНЗ. В целом наиболее перспективными по сочетанию продуктивности и относительной стабильности можно считать линии №23, №79, №178 и №223. Из представленных элементов структуры урожая наибольшее значение имеет озерненность с колоса, тогда как масса зерен с колоса имеет значение только в наиболее неблагоприятные годы.

ГЛАВА 4 ОЦЕНКА СОРТОВ И ЛИНИЙ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПО КАЧЕСТВУ ЗЕРНА

В настоящей главе представлены результаты комплексной оценки качества зерна сортов и селекционных линий яровой мягкой пшеницы. Анализ включал физические (масса 1000 зерен, натура, стекловидность) и биохимические свойства зерна (содержание белка и клейковины), а также оценку технологических качеств (выход муки, объёмный выход хлеба, общая хлебопекарная оценка).

Совокупность полученных данных позволила провести сравнительную характеристику изученных образцов по качеству зерна и выделить наиболее перспективные формы для дальнейшего использования в селекции в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России.

4.1 Характеристика физико-биохимических свойств зерна сортов яровой мягкой пшеницы

К основным физическим свойствам зерна относятся масса 1000 зерен, натура и стекловидность. Эти показатели отражают степень выполненности зерна, его морфологические особенности и потенциальную технологическую ценность.

Формирование массы 1000 зерен у сортов. Масса 1000 зерен у сортов и линий яровой мягкой пшеницы существенно варьировала по годам исследований, что обусловлено как генотипическими особенностями образцов, так и влиянием погодных условий вегетационного периода (табл. 4.1). Условия вегетации 2022 и 2023 гг. способствовали формированию крупного полновесного зерна, тогда как сильная эпифитотия грибных болезней в 2024 году резко снизила значения этого показателя (Приложение В.3).

В 2022 году масса 1000 зерен у изученных сортов варьировала от 35,8 до 49,9 г (табл. 4.1). Стандартный сорт Злата сформировал 41,3 г. Наиболее крупное зерно сформировалось у сортов Маргарита (49,9 г), Обская 2 (46,4 г), Симбирцит (46,1 г), Саратовская 74 (46,2 г), Алтайская Жница (45,8 г), Тобольская (44,7 г), Тулайковская 108 (44,6 г), Гранни (44,4 г), Гранова (46,1 г) и Канюк (45,6 г). Данные генотипы характеризуются высокой выполненностью зерна. Минимальные

значения отмечены у сортов Золушка (35,8 г), Л-57 (36,7 г) и Мандарина (38,2 г) (Приложение В.3).

В 2023 году наблюдалось общее увеличение массы 1000 зерен у большинства сортов. Значения варьировали от 35,9 до 52,0 г. Стандарт Злата сформировал 46,1 г. Самым крупным зерном отличались сорта Обская 2 (52,0 г), Маргарита (50,8 г), Симбирцит (49,6 г), Канюк (48,3 г), Гранни (48,2 г), Ласка (47,8 г), Учитель (46,8 г), Алтайская Жница (46,7 г), Гранова (46,8 г) и Тобольская (46,2 г). Минимальные показатели отмечены у Золушка (35,9 г) и Фаворит (37,6 г) (Приложение В.3).

В 2024 году на фоне неблагоприятных условий и высокой естественной инфекционной нагрузки отмечено снижение массы 1000 зерен у всех сортов – показатели варьировали от 27,9 до 39,2 г. Стандарт сформировал 37,9 г. Относительно высокими значениями характеризовались Симбирцит (39,2 г), Обская 2 (38,4 г), Маргарита (37,8 г) и Алтайская Жница (37,8 г), что свидетельствует об их большей устойчивости к стрессовым условиям формирования зерна. Минимальные значения отмечены у сортов Золушка (27,9 г), Л-57 (30,6 г) и Фаворит (31,2 г) (Приложение В.3).

Анализ средних данных за 2022–2024 гг. показал, что наиболее крупным зерном отличались сорта Саратовская 74 (43,2 г), Тулайковская 108 (42,3 г), Маргарита (46,2 г), Обская 2 (45,6 г), Симбирцит (45,0 г), Гранни (42,8 г), Арабелла (42,9 г), Канюк (43,8 г) и Алтайская Жница (43,4 г). Наименьшие средние значения отмечены у Золушки (33,2 г), Фаворита (36,4 г) и Л-57 (36,6 г) (табл. 4.1).

Коэффициент вариации массы 1000 зерен у изученных сортов яровой мягкой пшеницы варьировал от 10 до 22 %, что свидетельствует об умеренной изменчивости данного признака по годам исследований. Наиболее стабильным по массе 1000 зерен был стандартный сорт Злата (10 %), а также сорта Саратовская 74 и Алтайская Жница (11 %). Наибольшая изменчивость данного признака отмечена у сорта Ласка (22 %), что указывает на более выраженную зависимость массы 1000 зерен от условий года (Приложение И.3).

Таким образом, масса 1000 зерен характеризуется выраженной межгодовой изменчивостью, однако ряд генотипов (Саратовская 74, Тулайковская 108,

Маргарита, Обская 2, Симбирцит, Гранни, Арабелла, Канюк и Алтайская Жница) стабильно формировал высокие показатели выполненности зерна, что свидетельствует об их высокой адаптивности и селекционной ценности.

Натура зерна. Натура зерна является важным физическим показателем качества, характеризующим плотность зерновой массы и степень выполненности зерна, а также тесно связана с выходом муки (Беркутова, 1991). Все сорта показали очень высокие значения натуры зерна в 2022 г., когда условия вегетации приближались к среднегодовым значениям (табл. 4.1). В оба последующих года значения показателя были ниже и почти не различались между собой.

В 2022 году натура зерна у изученных сортов варьировала от 783 до 833 г/л. (табл. 4.1). У стандарта Злата (st) показатель составил 810,8 г/л. Наиболее высоконатурным было зерно у сортов Саратовская 74 (817 г/л.), Тулайковская 108 (819 г/л.), Симбирцит (819 г/л.), Тюменская 29 (822 г/л.), Тобольская (824 г/л.), Фаворит (822 г/л.), Бомбона (824 г/л.), Мандарина (819 г/л) и Золушка (833 г/л.). Максимальное значение сформировал сорт Золушка (833 г/л.), что свидетельствует о высокой выполненности зерна. Минимальная натура отмечена только у Л-57 (783 г/л.) (Приложение В.3).

В 2023 году наблюдалось общее снижение натуры зерна по сравнению с 2022 годом. Значения варьировали от 766 до 816 г/л. У стандарта Злата показатель составил 788 г/л. Достоверно превысил стандарт только сорт Золушка (816 г/л.). Остальные сорта находились на уровне стандарта. Минимальные значения отмечены у Симбирцита (766 г/л.) и Учителя (773 г/л.) (Приложение В.3).

В 2024 году натура зерна продолжила снижаться и варьировала в пределах от 722 до 799 г/л. У стандарта Злата показатель составил 799 г/л. Большинство сортов характеризовались более низкими значениями по сравнению со стандартом. Минимальная натура зерна отмечена у Л-57 (722 г/л.), Ласки (740 г/л) и Канюка (739,3 г/л.), что указывает на существенное влияние неблагоприятных условий года на формирование плотности зерна (Приложение В.3).

Анализ средних значений за 2022–2024 гг. показал, что натура зерна варьировала от 767 до 816 г/л. Наиболее высокие и относительно стабильные

средние показатели сформировали сорта Золушка (816 г/л.), Тобольская (801 г/л.) и Злата (799 г/л.). Наименьшее среднее значение отмечено только у Л-57 (767 г/л.) (Приложение М). Коэффициент вариации натуры зерна у сортов был низким и составил 1–5 %, что свидетельствует о высокой стабильности данного признака (Приложение В.3).

Таким образом, натура зерна, как и масса 1000 зерен, характеризовалась выраженной межгодовой изменчивостью. В целом у большинства изученных сортов формировалось высоконатурное зерно, независимо от года изучения. При этом ряд сортов Золушка, Тобольская и Злата стабильно формировали наиболее высокие значения показателя, что свидетельствует об их высокой адаптивности и перспективности для использования в селекционных программах.

Стекловидность зерна. Стекловидность зерна сильнее всего изменялась в связи с изменяющимися условиями вегетации лет исследований (табл. 4.1). Наиболее высокие значения показателя у всех сортов были в 2023 году. Только сорт Саратовская 74 показал относительно стабильное формирование высококачественного зерна (значения выше 60%).

В 2022 году стекловидность зерна сортов варьировала от 36,9 до 84,3%. У стандарта Злата показатель составил 40,4%. Высокостволовидным было зерно сортов Саратовская 74 (84,3%), Тулайковская 108 (64,2%), Тюменская 29 (60,4%), Учитель (63,6%), Ирень (66,1%), Бомбона (60,7%), Л-57 (60,7%) и Канюк (60,0%). Минимальные значения отмечены у сортов Маргарита (37,8%), Гранни (36,9%) и Золушка (37,3%) (37,3%) (Приложение В.3).

В 2023 году наблюдалось общее повышение стекловидности. Значения варьировали в широком диапазоне от 38,3 до 98,8%. У стандарта Злата показатель составил 88,1%. Высокостволовидное зерно (значения превышали 90%) было выявлено у сортов Саратовская 74, Тулайковская 198, Алтайская Жница и Ирень. Низкой стекловидностью зерна характеризовался только сорт Золушка (Приложение В.3).

В 2024 году стекловидность существенно снизилась и варьировала от 18,3 до 65,1%. У стандарта Злата показатель составил 39,3%. Только сорт Саратовская 74

(65,1%) сформировал зерно, стекловидность которого соответствует требованиям, предъявляемым к сильным по качеству пшеницам. Зерно остальных сортов характеризовалось низкой стекловидностью (Приложение В.3).

Анализ средних значений за 2022–2024 гг. показал, что наиболее высокий и относительно стабильный уровень стекловидности сформировали сорта Саратовская 74 (82,7%), Ирень (70,2%), Тобольская (61,1%), Алтайская Жница (60,3%) и Обская 2 (59,1%). Эти генотипы можно рассматривать как перспективные источники высокой стекловидности зерна для селекции в условиях ЦРНЗ (табл. 4.1). Коэффициент вариации стекловидности зерна у изученных сортов яровой мягкой пшеницы варьировал в широких пределах от 3 до 67 %, что свидетельствует о высокой зависимости данного признака от условий года. Наиболее стабильным по стекловидности зерна был сорт Золушка (3 %), а также относительно низкая изменчивость отмечена у сортов Тобольская (15 %) и Саратовская 74 (20 %). Наибольшие значения коэффициента вариации выявлены у сортов Гранова (67 %), Ласка (60 %), Арабелла (58 %) и Алтайская Жница (55 %), что указывает на нестабильность у данных генотипов в разные годы (Приложение Б.3).

Обобщая результаты трёхлетнего исследования (2022–2024 гг.), следует отметить, что масса 1000 зерен, натура и стекловидность зерна характеризовались выраженной межгодовой изменчивостью, что обусловлено как генотипическими особенностями сортов, так и погодными условиями в годы проведения опыта (табл.4.1).

По массе 1000 зерен наиболее высокие и стабильные средние значения сформировали сорта Маргарита (46,2 г), Обская 2 (45,6 г), Симбирцит (45,0 г), Канюк (43,8 г), Алтайская Жница (43,4 г) и Саратовская 74 (43,2 г), что свидетельствует о хорошем наливе и выполненности зерна у данных генотипов. Минимальные средние показатели отмечены у Золушки (33,2 г), Л-57 (36,6 г) и Фаворита (36,4 г).

По показателю натуры зерна наибольшие средние значения за три года отмечены у сортов Гранова (816,0 г/л.), Тобольская (801,0 г/л.), Злата (799,3 г/л.), Тризо (796,7 г/л.), Тюменская 29 (796,5 г/л.) и Маргарита (791,1 г/л.), что

характеризует их как генотипы с высокой плотностью и хорошей выполненностью зерна. Более низкая натура отмечена у Л-57 (767,4 г/л.) и частично у Ласки (778,6 г/л.).

По стекловидности зерна наиболее высокие средние значения сформировали Саратовская 74 (82,7%), Ирень (70,2%), Тобольская (61,1%), Алтайская Жница (60,3%) и Обская 2 (59,1%), что свидетельствует о формировании высоких технологических свойств зерна. Наименьшая стекловидность характерна для Гранни (37,7%) и Золушки (38,5%) (Приложение В.3).

В целом, лучшими по комплексу физических показателей зерна в условиях ЦРНЗ являются сорта Злата (стандарт), Саратовская 74, Тулайковская 108, Маргарита, Обская 2, Тобольская, Алтайская Жница, Симбирцит, Учитель, Ирень и Канюк, сочетающие высокую массу 1000 зерен, удовлетворительную или повышенную натура и относительно высокую стекловидность.

Содержание белка в зерне. В 2022 г. содержание белка варьировало от 11,1 до 14,3%. У стандарта Злата показатель составил 12,2%, что находится на уровне филлера. Достоверно превзошли стандарт сорта: Саратовская 74 (12,9%), Агата (12,7%), Тулайковская 108 (13,5%), Тюменская 29 (13,2%), Алтайская Жница (12,9%), Ирень (14,3%), Бомбона (12,7%), Л-57 (13,7%) и Золушка (14,2%). Остальные сорта статистически не отличались от стандарта либо уступали ему. На уровне сильной по качеству пшеницы были только сорта Ирень и Золушка (выше 14%), на уровне ценной по качеству (выше 13%) – сорта Тулайковская 108, Тюменская 29 и Л-57 (Приложение В.4).

В 2023 г. у всех сортов яровой пшеницы содержание белка в зерне было относительно высоким – не ниже филлера (12%). Злата имела 14%, что соответствует требованиям сильной по качеству пшенице. Сюда же были отнесены сорта Тюменская 29, Ирень, Бомбона, Л-57 и Золушка. Требованиям, предъявляемым к сортам ценной по качеству пшеницы (13% и выше), были отнесены сорта Алтайская Жница, Учитель, Фаворит, Гранни, Тризо, Ласка, Арабелла и Гранова. Остальные соответствовали требованиям к пшенице-филлеру (Приложение В.4).

В 2024 году, несмотря на эпифитотию грибных болезней, белковость зерна почти у всех изученных сортов пшеницы была не ниже филлера. Возможной причиной может быть засуха, приведшая к формированию довольно щуплого зерна. На уровне сильной пшеницы были стандарт Злата, Тюменская 29, Тризо, Ирень, Л-57 и Золушка. На уровне ценной по качеству пшеницы были Саратовская 74, Агата, Тулайковская 108, Симбирцит, Тобольская, Алтайская Жница, Бомбона, Арабелла, Гранова и Мандарина. Остальные соответствовали пшенице-филлеру (Приложение В.4).

В среднем по годам стандарт Злата по содержанию белка в зерне соответствовал требованиям, предъявляемым к сортам ценной по качеству пшеницы. В эту же группу вошли Тулайковская 108, Тюменская 29, Алтайская Жница и Бомбона. Стабильно высокое содержание белка на уровне сильной по качеству пшеницы показывали сорта Ирень, Л-57 и Золушка. Остальные соответствовали пшенице-филлеру (табл. 4.1). Все изученные сорта являются источниками высокого белка для селекции новых сортов яровой пшеницы в условиях ЦРНЗ.

Коэффициент вариации содержания белка в зерне у изученных сортов яровой мягкой пшеницы варьировал от 2 до 9 %, что свидетельствует о высокой стабильности данного признака. Наиболее стабильными по содержанию белка были сорта Саратовская 74 и Тулайковская 108 (2 %), а также Симбирцит, Обская 2, Алтайская Жница, Маргарита и Л-57 (3 %). Наибольшие значения коэффициента вариации отмечены у сортов Тризо и Мандарина (9 %) (Приложение И.3).

Содержание клейковины в зерне. Этот показатель является одним из самых важных косвенных характеристик хлебопекарных качеств зерна пшеницы. Поэтому при оценке исходного материала ему уделяют большое внимание.

В годы исследований в зерне изученных сортов пшеницы накапливалось разное количество клейковины (табл. 4.1). Прослеживается резко отрицательная корреляция с урожайностью – в 2022 году, когда сорта имели максимальную урожайность, содержание клейковины в зерне было минимальным, а в наименее урожайный год – максимальным.

Сравнительная оценка генотипов относительно стандарта и друг друга в 2022 году показала, что содержание клейковины в зерне у изученных сортов варьировало в пределах 18,0–24,3%, что отражает выраженную дифференциацию генотипов по данному признаку. У сорта-стандарта Злата клейковина составила 20,1%, что соответствовало уровню слабой по качеству пшеницы (Белоусова, 1991; ГОСТ 34702–2020). По отношению к стандарту достоверно более высокие значения отмечены у сортов Тулайковская 108 (21,7%), Саратовская 74 (21,6%) и Тюменская 29 (21,6%), а максимальный показатель сформировали сорта Ирень (24,3%) и Золушка (24,1%). Напротив, достоверно более низкое содержание клейковины по сравнению со стандартом характеризовало сорта Тобольская (18,2%), Гранни (18,0%), Маргарита (18,8%), Ласка (18,6%), Арабелла (18,8%), Гранова (18,9%), Мандарина (18,6%) и Канюк (18,4%), что указывает на ограниченные возможности этих генотипов по формированию клейковинного комплекса в условиях 2022 года (табл. 4.3). В целом, только в зерне сортов Ирень и Золушка в условиях 2022 года содержание клейковины соответствовало уровню хорошего филлера. Остальные сорта были на уровне слабой по качеству пшеницы (Приложение В.4).

В 2023 году наблюдалось общее повышение содержания клейковины, а диапазон изменчивости расширился до 19,3–28,0%. У стандарта Злата показатель составил 23,5%, что подтверждает более благоприятные условия года для накопления белково-клейковинных веществ. Достоверно выше уровня стандарта характеризовались сорта Ирень (27,9%), Л-57 (24,6%), Бомбона (24,7%) и особенно Золушка (28,0%), сформировавшая максимальное значение в опыте. Большинство остальных сортов в 2023 году либо находились на уровне стандарта, либо достоверно уступали ему; наиболее низкие значения отмечены у Маргариты (19,3%), Тобольской (19,7%), Обской 2 (19,6%), Саратовской 74 (20,7%), что подчёркивает различную отзывчивость генотипов на условия года (табл. 4.3). В целом, только сорт Золушка соответствовал уровню сильной по качеству пшеницы, а Ирень – ценной (Белоусова, 1991; ГОСТ 34702–2020). Сорта Злата, Тюменская

29, Тризо, Бомбона, Л-57, Ласка, Арабелла, Гранова соответствовали уровню филлера. Остальные были на уровне слабой пшеницы (Приложение В.4).

В 2024 году содержание клейковины вновь варьировало в широких пределах 17,1–29,5%, при этом у стандарта Злата клейковина составила 25,1%, что соответствует уровню ценной по качеству пшеницы. Достоверное превышение стандарта зафиксировано у сортов Ирень (29,5%) и Золушка (28,7%) (сильные по качеству), Л-57 (27,0%), Тюменская 29 (25,9%) и Тризо (25,7%) (ценные по качеству). Одновременно у ряда сортов отмечено достоверное снижение показателя относительно стандарта. Минимальные значения, на уровне слабой пшеницы, отмечены у сортов Маргарита (17,1%), Учитель (19,4%) и Гранни (21,9%). Остальные соответствовали уровню филлера (Приложение В.4).

Коэффициент вариации содержания клейковины в зерне составил 4–13 %, что также указывает на относительно стабильное проявление данного признака у большинства сортов. Минимальная изменчивость содержания клейковины отмечена у сорта Саратовская 74 (4 %), тогда как максимальное значение коэффициента вариации выявлено у сорта Тризо (13 %). В целом содержание белка и клейковины характеризовалось меньшей изменчивостью по сравнению с урожайностью и рядом элементов структуры продуктивности (Приложение И.3).

По итогам трехлетнего изучения в условиях ЦРНЗ видно, что сорта Ирень и Золушка устойчиво формировали высокое количество клейковины в зерне, тогда как Маргарита – низкое. К сортам-филлерам были отнесены Злата, Тулайковская 108, Тюменская 29, Тризо, Бомбона и Л-57. Остальные немного не дотягивали до филлера.

Таблица 4.1 – Характеристика физико-биохимических свойств зерна сортов яровой мягкой пшеницы в среднем за 2022–2024 гг.

Название	Масса 1000 г	Натура, г/л.	Стекловидность, %	Содержание белка в зерне, %	Группа качества по белку	Содержание клейковины в зерне, %	Группа качества по клейковине
Злата (st)	41,8	799,3	55,9	13,6	ценная	22,9	филлер
Саратовская 74	43,2	790,0	82,7	13,0	ценная	21,6	филлер
Агата	39,1	779,6	50,5	13,1	ценная	21,9	филлер
Тулайковская 108	42,3	788,2	64,4	13,2	ценная	22,0	филлер
Симбирцит	45,0	787,5	51,3	12,6	филлер	21,1	филлер
Тюменская 29	40,0	796,5	48,8	13,9	ценная	23,4	филлер
Обская 2	45,6	779,2	59,1	12,3	филлер	20,4	филлер
Тобольская	41,6	801,0	61,1	12,4	филлер	20,2	филлер
Алтайская Жница	43,4	789,2	60,3	13,3	ценная	21,9	филлер
Маргарита	46,2	791,1	39,5	11,7	филлер	18,4	филлер
Учитель	41,9	782,6	62,1	12,9	филлер	20,7	филлер
Фаворит	36,4	795,3	50,7	12,5	ценная	20,9	филлер
Гранни	42,8	788,8	37,7	12,3	филлер	20,3	филлер
Тризо	38,8	796,7	50,9	13,2	ценная	22,9	филлер
Ирень	38,7	791,2	70,2	15,4	сильная	27,2	ценная
Бомбона	38,4	788,0	53,7	13,6	ценная	23,5	филлер
Л-57	36,6	767,4	58,3	14,2	сильная	24,9	ценная
Ласка	39,7	778,6	45,8	12,4	филлер	21,0	филлер
Арабелла	39,4	779,6	46,9	12,7	филлер	21,3	филлер
Гранова	42,9	783,5	46,4	12,8	филлер	21,8	филлер
Мандарина	37,2	784,2	48,7	12,5	филлер	21,0	филлер
Золушка	33,2	816,0	38,5	14,5	сильная	26,9	ценная
Канюк	43,8	778,2	44,1	12,2	ценная	19,8	филлер
НСР ₀₅	1,8	19,2	37,6	1,1	-	3,3	-

4.2 Характеристика физико-биохимических свойства зерна линий яровой пшеницы СИММУТ

Масса 1000 зерен у линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ. В 2022 году масса 1000 зерен у линий СИММУТ варьировала в пределах от 37,8 до 52,7 г, что свидетельствует о благоприятных условиях формирования зерна. У стандарта Злата (st) данный показатель составил 41,3 г. Достоверно более высокие значения по сравнению со стандартом отмечены у линий №23, №35, №65, №66, №67, №153 и №217, где масса 1000 зерен превышала 45 г. Максимальное значение зафиксировано у линии №217 (52,7 г), что характеризует её как источник крупнозерности. Достоверно более низкие показатели по сравнению со стандартом отмечены у линий №220, №221 и №223 (37,8–39,3 г) (Приложение В.5).

В 2023 году у большинства линий наблюдалось увеличение массы 1000 зерен. Показатель варьировал от 42,2 до 52,3 г. Стандарт Злата сформировал массу 1000 зерен 46,1 г. Наиболее высокую массу 1000 зерен сформировали линии №35 (52,3 г) и №217 (51,3 г). Значения показателя у линий №23, №79, №147, №151, №152 и №215 находились на уровне стандарта, а линии №59, №65, №67, №70, №150, №178, №220 и №221 характеризовались достоверно более низкими значениями (Приложение В.5).

В 2024 году отмечено существенное снижение массы 1000 зерен у всех изученных линий, что связано с неблагоприятными условиями вегетации и повышенной инфекционной нагрузкой грибных болезней. Значения варьировали от 30,7 до 40,3 г. У стандарта Злата масса 1000 зерен составила 37,9 г. Высокие значения сформировали линии №65 и №217 (более 40 г), более низкие у линий №66, №70, №220 и №221 (31,1–34,0 г) (Приложение В.5).

В среднем за 2022–2024 гг. масса 1000 зерен у линий СИММУТ варьировала от 37,2 до 48,1 г. Наиболее высокие средние значения отмечены у линий №35 (46,2 г), №65 (44,2 г), №153 (44,2 г) и №217 (48,1 г). Данные генотипы можно рассматривать как перспективные источники крупнозерности и высокой выполненности зерна для дальнейшей селекционной работы (табл. 4.2).

Коэффициент вариации массы 1000 зерен у линий яровой мягкой пшеницы селекции CIMMYT варьировал от 10 до 17 %, что свидетельствует об умеренной изменчивости данного признака по годам исследований. Наиболее стабильное проявление массы 1000 зерен отмечено у линий №59, №151 и №178, у которых коэффициент вариации составил 10 %. Наибольшие значения коэффициента вариации выявлены у линий №67 и №220 (17 %), что указывает на несколько более выраженную зависимость данного признака от условий года (Приложение В.5).

Натура зерна линий яровой мягкой пшеницы CIMMYT. В 2022 году натура зерна у линий CIMMYT варьировала в широких пределах – от 770,2 до 837 г/л. У стандарта Злата (st) натура зерна составила 810 г/л. Высокие значения показателя (выше 800 г/л.) были отмечены у линий №23, №35, №65, №66, №67, №70, №151, №152, №153, №187 и №223. Остальные линии также имели зерно с относительно высокой натурой (Приложение В.5).

В 2023 году отмечено общее снижение натуры зерна у большинства линий по сравнению с предыдущим годом. Показатель варьировал от 711 до 829 г/л. У стандарта Злата натура составила 788,0 г/л. Высоким значением натуры (выше 800 г/л.) характеризовались линии №23, №65, №152 и №187. Минимальные значения натуры зерна отмечены у линий №59 (711 г/л.), №150 (721 г/л.) и №66 (752 г/л.), что свидетельствует о повышенной чувствительности данных генотипов к условиям года (Приложение В.5).

В 2024 году тенденция к снижению натуры зерна сохранялась. Значения варьировали от 716 до 806 г/л. У стандарта Злата натура зерна составила 799,0 г/л., наиболее высокие показатели натуры зерна сформировали линии №147 (802 г/л.), №153 (806 г/л.) и №215 (802 г/л.). Большинство линий находились на уровне стандарта либо незначительно уступали ему. Наименьшие значения отмечены у линии №65 (716 г/л.) (табл. 4.2), что несколько удивляет, так как эта линия показала высокие результаты по устойчивости к комплексу болезней (Приложение В.5).

В среднем за 2022–2024 гг. натура зерна у линий CIMMYT варьировала от 751 до 808 г/л. при значении стандарта 799 г/л. Наиболее высокие средние значения сформировали линии №67 (808 г/л.), №152 (801 г/л.), №187 (799 г/л.) и №215 (799

г/л.), что позволяет рассматривать их как перспективные источники высокой плотности зерна и хорошей выполненности эндосперма (табл. 4.2).

Коэффициент вариации натуры зерна у линий был низким и изменялся от 1 до 7 %, что свидетельствует о высокой стабильности данного признака у большинства изученных образцов. Наиболее стабильными по натуре зерна были линии №23, №178, №217 и №221, у которых коэффициент вариации составил 1 %. Максимальная изменчивость натуры зерна отмечена у линий №65 и №187 (7 %) (Приложение И.4).

Стекловидность зерна линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ. У этой группы образцов яровой пшеницы наблюдалась аналогичная картина, что и у сортов – значения стекловидности зерна сильно варьировали у одних и тех же образцов по годам. И самым благоприятным годом был 2023, когда они не опускались ниже 60% (Приложение В.5).

В 2022 г. стекловидность зерна у линий СИММУТ варьировала от 43,3 до 77,1% при относительно низком значении у стандарта Злата 40,4%. Стекловидность на уровне сильной пшеницы (выше 60%) показали линии: №23, №35, №59, №65, №66, №67, №150, №151, №178, №217, №220 и №221 (табл. 4.2). Остальные линии по значению признака несколько превышали стандарт (Приложение В.5).

В 2023 г. стекловидность зерна всех линий соответствовала требованиям стандарта, предъявляемым к сильной по качеству пшенице – от 60,7 до 98,3% при значении стандарта Златы 88,1%. Максимальные значения (свыше 90%) были зафиксированы у линий №59, №66, №79, №147, №150, №152, №153, №217 и №220. (Приложение В.5).

В 2024 г. стекловидность варьировала в очень широких пределах – от 13,0 до 80,9% при достаточно низком значении стандарта Златы 39,3%. Отдельные линии соответствовали требованиям, предъявляемым к сильной пшенице (стекловидность зерна превышала 60%) - №23, №35, №59, №67, №150 и №178. Остальные имели довольно низкие значения (Приложение В.5).

В среднем по годам стандарт Злата показала не очень высокие результаты стекловидности зерна – всего 55,9%. Значения на уровне сильной по качеству

пшеницы показали линии №23, №35, №59, №66, №67, №147, №150, №151, №152, №153, №178, №217 и №220 (табл. 4.2), что позволяет рассматривать их как перспективные источники данного признака в селекционной работе. Остальные показали сильную изменчивость признака по годам (табл. 4.2).

Коэффициент вариации стекловидности зерна у линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ варьировал в широких пределах – от 7 до 61 %, что свидетельствует о высокой изменчивости данного признака и его значительной зависимости от условий года. Наиболее стабильное проявление стекловидности зерна отмечено у линии №178 (7 %), а также у линий №23 (9 %), №35 и №59 (13 %). Наибольшая изменчивость данного признака выявлена у линий №187 (61 %), №223 (52 %), №79 (51 %), №152 (48 %) и №70 (47 %), что указывает на нестабильное проявление стекловидности зерна у данных генотипов в разные годы исследований (Приложение И.4).

В целом изученные линии показали высокие результаты оценки физических качеств зерна. Лучшими по комплексу физических показателей зерна в условиях ЦРНЗ являются линии №23, №35, №59, №66, №67, №79, №147, №150, №151, №152, №153, №178, №215, №217 и №220.

Таблица 4.2 – Характеристика физико-биохимических свойств зерна линий яровой мягкой пшеницы в среднем за 2022–2024 гг.

Название	Масса 1000 г	Натура, г/л.	Стекловидность, %	Содержание белка в зерне, %	Группа качества по белку	Содержание клейковины в зерне, %	Группа качества по клейковине
Злата (st)	41,8	799,3	55,9	13,6	ценная	22,9	филлер
Линия №23	42,8	798,0	71,1	14,7	сильная	25,3	ценная
Линия №35	46,2	790,3	71,8	14,1	сильная	23,5	филлер
Линия №59	40,3	751,7	80,0	15,9	сильная	28,7	сильная
Линия №65	44,2	782,3	59,5	15,2	сильная	27,0	ценная
Линия №66	41,0	785,4	68,2	13,4	ценная	22,1	филлер
Линия №67	39,9	808,3	75,1	15,5	сильная	27,7	ценная
Линия №70	39,6	797,0	54,8	14,3	сильная	25,1	ценная
Линия №79	40,9	788,6	59,7	13,1	ценная	21,7	филлер
Линия №147	40,6	769,8	64,8	13,9	сильная	23,0	филлер
Линия №150	39,2	757,3	74,0	14,9	сильная	25,9	ценная
Линия №151	42,9	786,9	69,8	16,3	сильная	29,5	сильная
Линия №152	41,5	801,9	61,6	13,8	ценная	24,5	филлер
Линия №153	44,2	797,3	69,2	14,7	сильная	25,9	ценная
Линия №178	38,8	775,9	77,8	14,9	сильная	26,0	ценная
Линия №187	42,0	799,7	40,2	13,5	ценная	23,4	филлер
Линия №215	41,7	799,5	59,1	14,1	сильная	24,1	филлер
Линия №217	48,1	775,2	67,6	12,7	филлер	21,0	филлер
Линия №220	37,5	777,9	65,4	14,8	сильная	26,7	ценная
Линия №221	37,2	782,0	58,3	15,5	сильная	27,7	ценная
Линия №223	40,0	795,8	42,7	14,0	сильная	24,2	филлер
НСР ₀₅	1,8	9,7	11,4	1,3	-	3,35	-

Содержание белка в зерне линий яровой мягкой пшеницы СИММУТ. В 2022 г. содержание белка у селекционных линий СИММУТ варьировало в пределах 12,0–15,5%, при этом у стандарта Злата показатель составил 12,2%. Большинство линий в этот год формировали более высокое содержание белка по сравнению со стандартом. Максимальные значения на уровне сильной по качеству пшеницы отмечены у линий №151 (15,5%), №59 (15,0%), №67 (14,9%) и №65 (14,5%). Качество ценной пшеницы продемонстрировали линии №23, №35, №150, №153, №178 и №221. Минимальные значения (на уровне филлера) зафиксированы у линий №152 (12,0%), №187 (12,0%), №223 (12,3%), а также у №79 (12,4%) и №220 (12,6%) (Приложение В.5).

В 2023 г. наблюдалось общее повышение содержания белка у большинства линий по сравнению с 2022 г. Значения варьировали в пределах 13,1–17,9%, то есть на уровне ценной либо сильной пшеницы. Стандарт Злата (14,0%) соответствовал сильной пшенице. Наиболее высокие показатели сформировали линии №151 (17,9%), №59 (17,1%), №221 (16,9%), №67 (16,6%), №65 (16,4%) и №150 (16,1%), что свидетельствует о выраженной способности этих генотипов к накоплению белка в условиях данного года. Большинство остальных линий имели значения выше 14% (Приложение В.5).

В 2024 г. содержание белка у линий СИММУТ оставалось высоким и варьировало от 12,4 до 16,2%, при этом у стандарта Злата показатель составил 14,5%. Наибольшее содержание белка отмечено у линий №220 (16,2%), №59 (15,7%), №221 (15,7%), №151 (15,4%), №223 (15,2%), №150 (15,2%), №35 (14,2%), №23 и №153 (по 15,1%). Минимальные значения на уровне филлера наблюдались у линий №66 (12,9%), №79 (12,4%), №217 (12,7%) (Приложение В.5).

В среднем за три года у большинства линий значения содержания белка в зерне соответствовали уровню ценной либо сильной пшеницы. Отдельные линии №59, №65, №67, №150, №151, №153, №178 и №221 проявили стабильность в накоплении белка в зерне в течение трех лет исследований, что позволяет рассматривать их как наиболее перспективные источники данного признака для селекционной работы (Приложение В.5).

Коэффициент вариации содержания белка в зерне у линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ варьировал от 4 до 13 %, что свидетельствует о сравнительно высокой стабильности данного признака у большинства изученных образцов (Приложение И.4). Наиболее стабильное проявление содержания белка отмечено у линий №35 и №217 (4 %), а также у линий №23, №67 и №178 (6 %). Наибольшая изменчивость данного признака выявлена у линии №220 (13 %), а также у линий №152 (12 %), №147, №187 и №223 (11 %).

Таким образом, в изученном наборе линий СИММУТ преобладают генотипы, относящиеся к сильным и ценным по качеству белка, что свидетельствует о высоком селекционном потенциале данного материала. Выделенные сильные линии целесообразно использовать как доноры повышенного содержания белка при создании новых высококачественных сортов яровой мягкой пшеницы.

Содержание клейковины в зерне линий яровой мягкой пшеницы СИММУТ. В годы исследований содержание клейковины в зерне у линий СИММУТ существенно варьировало в зависимости от погодных условий и генотипических особенностей. Как и у сортов, прослеживается тенденция отрицательной связи с урожайностью: в более благоприятные по продуктивности годы содержание клейковины, как правило, снижалось, тогда как в менее урожайные годы наблюдалось его повышение (Приложение В.6).

В 2022 году содержание клейковины в зерне у линий варьировало в пределах 19,4–26,9% при $HCp_{05} = 1,64$. Наиболее высокие значения сформировали линии №59 (25,7%), №67 (26,5%) и №151 (26,9%), что соответствует уровню ценной и сильной по качеству пшеницы. Минимальные значения отмечены у стандарта Злата (20,1%), а также у линий №35 (21,8%), №66 (20,8%), №70 (20,3%), №79 (20,5%), №147 (20,8%), №152 (19,8%), №187 (19,4%), №215 (21,5%), №217 (20,4%), №220 (20,7%) и №223 (19,7%), что свидетельствует о более слабом формировании клейковинного комплекса в условиях данного года (Приложение В.6).

В 2023 году отмечено общее повышение содержания клейковины в зерне у изученных линий; диапазон изменчивости составил 21,4–31,6%. Максимальные значения сформировали линии №151 (31,6%), №221 (30,0%), №59 (29,9%), №65

(28,7%) и №67 (28,5%), которые относятся к сильной по качеству. К группе ценных по качеству образцов можно отнести линии №70 (26,8%), №147 (25,8%), №150 (27,8%), №152 (25,0%), №153 (27,6%), №178 (26,3%), №215 (25,5%) и №220 (27,7%). На уровне филлера находились стандарт Злата (23,5%), а также линии №23 (24,8%), №35 (24,0%), №66 (24,9%), №79 (24,5%), №187 (23,7%) и №223 (24,2%). Наименьшее значение отмечено у линии №217 (21,4%), что соответствует более низкому уровню формирования клейковинного комплекса. (Приложение В.6).

В 2024 году содержание клейковины в зерне у линий варьировало в пределах 20,5–31,7%. У стандарта Злата показатель составил 25,1%, что соответствует уровню ценной по качеству. Максимальные значения сформировали линии №220 (31,7%), №59 (30,5%), №151 (30,1%) и №221 (30,0%), которые относятся к сильной по качеству пшенице. К группе ценных по качеству образцов можно отнести линии №23 (28,3%), №65 (28,0%), №67 (28,0%), №70 (28,3%), №152 (28,6%), №153 (28,0%), №178 (27,6%) и №150 (27,3%). На уровне филлера находились линии №35 (24,6%), №66 (20,5%), №79 (20,0%), №147 (22,4%), №187 (27,0%), №215 (25,2%) и №217 (21,1%). Минимальные значения отмечены у линий №79 (20,0%) и №66 (20,5%), что свидетельствует о более слабом формировании клейковинного комплекса в условиях данного года (Приложение В.6).

Подводя итоги по клейковине по средним данным за 2022–2024 гг., содержание клейковины в зерне у линий варьировало в пределах 21,0–29,5%. У стандарта Злата среднее значение составило 22,9%, что соответствует уровню филлера. Наиболее высокими показателями характеризовались линии №151 (29,5%), №59 (28,7%), №221 (27,7%), №67 (27,6%) и №65 (27,0%), которые относятся к группе ценных и сильных по качеству пшениц и могут рассматриваться как перспективный исходный материал для селекции высокого качества. К группе филлеров следует отнести линии с уровнем 21,0–23,5% (№217, №79, №66, №187), характеризующиеся более низким потенциалом формирования клейковинного комплекса. Остальные линии занимали промежуточное положение, формируя показатели на уровне ценной по качеству пшеницы (табл. 4.2).

Коэффициент вариации содержания клейковины в зерне у линий составил 2–21 %, что указывает на более выраженную изменчивость данного признака по сравнению с содержанием белка. Наиболее стабильной по содержанию клейковины была линия №217 (2 %), а также линии №67 (4 %), №35 (6 %) и №178 (7 %). Максимальная изменчивость коэффициента вариации содержания клейковины отмечена у линий №220 (21 %), №223 (19 %), №152 (18 %), №70 (17 %) и №187 (16 %) (Приложение И.4).

Таким образом, проведённые исследования показали, что линии СИММУТ обладают значительным генетическим разнообразием по содержанию клейковины в зерне, что позволяет выделить ряд перспективных генотипов (№151, №59, №221, №67, №65) для дальнейшего использования в селекции на повышение хлебопекарных качеств яровой мягкой пшеницы.

4.3 Оценка хлебопекарных качеств зерна сортов яровой мягкой пшеницы

Выход муки является важным показателем технологических свойств зерна, отражающим особенности его анатомо-морфологической структуры и степень выполненности эндосперма. Лабораторный помол проводили на лабораторной мельнице с выходом муки 70%. По данным трёхлетних наблюдений выход муки у изученных сортов варьировал по годам (Приложение В.7).

В 2022 году выход муки варьировал в пределах 67,8–74,6%. Стандарт Злата сформировал 70,4%. Наиболее высокие значения отмечены у сортов Саратовская 74 (74,6%), Агата (73,3%) и Мандарина (73,5%). Ряд сортов: Учитель – 72,7%, Золушка – 72,7%, Тобольская – 72,0%, Маргарита 72,1%, Фаворит и Гранни по 72,3% также характеризовались выходом муки выше стандарта. Минимальные значения показали Гранова (67,8%) и Обская 2 (69,9%) (Приложение В.7).

В 2023 г. выход муки составил 65,6–72,7%, при этом стандарт Злата имел 72,5%, максимальное значение. У большинства сортов отмечали пониженный выход муки (ниже 70%), что связано, по-видимому, с некоторой щуплостью зерна вследствие засухи (Приложение В.7).

В 2024 г. выход муки снизился еще сильнее вследствие недовыполненности эндосперма (низкая масса 1000 зерен) и составил 54,1 – 65,1%. У стандарта Злата значения были невысокими – всего 57,4%. В этом году значительная часть сортов сформировала значения выше стандарта, включая сорта Мандарина (65,1%), Золушка (65,0%), Фаворит (63,6%), Гранни (63,0%), Ирень (63,8%), Ласка (62,4%) и Тризо (62,0%). Одновременно ряд генотипов показал выход муки ниже стандарта, в частности Тулайковская 108 (54,1%), Обская 2 (54,6%), Агата (55,6%), Симбирцит и Л-57 (по 55,9%), Канюк – 55,7%. (Приложение В.7).

В целом за 2022–2024 гг. средний выход муки у сортов составил 63,4–70,1%. Максимальное среднее значение отмечено у сорта Мандарина (70,1%), высокие значения также характерны для Тризо (68,7%), Фаворит (68,6%), Золушка (68,4%), Тобольская (68,0%) и Саратовская 74 (67,6%). Наиболее низкие средние значения выявлены у Обской 2 (63,4%) и Тулайковской 108, Л-57, Канюк – 64,9% (табл. 4.3).

По цвету муки большинство изученных сортов яровой мягкой пшеницы относилось к группе со светло-кремовой мукой. У отдельных сортов отмечалась серая и светло-серая окраска муки. В то же время у сорта Золушка выявлена голубовато-сизая окраска вследствие попадания в муку частичек зеленого алейронового слоя. Сорт Канюк характеризовался светло-жёлтой окраской муки, что, вероятно, обусловлено генетическими особенностями формирования пигментного состава эндосперма (табл. 4.3).

Коэффициент вариации выхода муки у изученных сортов яровой мягкой пшеницы варьировал от 5 до 15 %, что свидетельствует об умеренной изменчивости данного показателя по годам исследований. Наиболее стабильное проявление выхода муки отмечено у сортов Ирень (5 %), Гранова (5 %), Канюк, Мандарина (6 %) и Фаворит (7 %). Наибольшая изменчивость данного признака выявлена у сортов Агата (15 %) и Тулайковской 108 (14 %).

Хлебопекарные качества зерна являются сложной характеристикой, отражающей совокупное влияние физико-химических и биохимических свойств зерна. Такие показатели, как содержание белка и клейковины, позволяют лишь косвенно судить о хлебопекарной ценности сортов и линий. В ряде случаев

снижение отдельных показателей может быть связано с недостаточной выполненностью зерна или неблагоприятными условиями формирования урожая. Однако объективную и комплексную оценку хлебопекарных качеств сортов яровой мягкой пшеницы можно получить только при проведении лабораторной выпечки, позволяющей непосредственно оценить объёмный выход хлеба и его органолептические свойства. В процессе пробной выпечки было получено большое число показателей, однако здесь приведены лишь основные из них – объёмный выход хлеба и общая хлебопекарная оценка (результатирующий показатель, учитывающий все остальные).

В 2022 году у всех сортов яровой пшеницы объёмный выход хлеба соответствовал 5 баллам оценки (более 500 см³). При этом сорта различались между собой (502,5 до 825,0 см³). Стандарт Злата имел высокое значение показателя – 675,0 см³. Значительно более высокие значения отмечены у сортов Агата (825, 0 мл), Алтайская Жница (762,5 мл), Фаворит (742,5 мл), Ласка (727,5 мл) и Ирень (710,0 мл). На уровне стандарта находились сорта Л-57, Тобольская и Канюк. Минимальный объёмный выход хлеба зафиксирован у сортов Гранни (502,5 мл) и Гранова (527,5 мл). (Приложение В.7; Приложение Г.1). При этом общая хлебопекарная оценка в 2022 году варьировала от 3,9 до 4,8 балла, отражая в целом высокий уровень качества хлеба. Стандарт Злата имел оценку 4,6 балла, что соответствует уровню сильной пшеницы. Более высокие значения отмечены у сортов Ирень (4,8 балла), Алтайская Жница и Фаворит (по 4,7 балла). На уровне стандарта находилась Ласка (4,6 балла). Наименьшие оценки зафиксированы у сортов Гранни и Гранова (по 3,9 балла), что согласуется с их пониженным объёмным выходом хлеба (Приложение В.7).

В 2023 году объёмный выход хлеба у сортов снизился по сравнению с 2022 годом, несмотря на более высокие значения содержания белка и клейковины (440,0 – 620,0 см³). Стандарт Злата сформировал 510,0 см³. Наиболее высокие значения зафиксированы у сортов Золушка (620,0 см³), Тризо (550,0 см³л), Фаворит (545,0 см³), Бомбона (565 см³), Л-57 и Ласка (по 540,0 см³), Арабелла (530,0 см³). Минимальные значения отмечены у сортов Гранни, Маргарита и Гранова (440,0–

455,0 см³), что указывает на ухудшение хлебопекарных свойств в условиях данного года. Общая хлебопекарная оценка в 2023 году находилась в диапазоне 4,1–4,9 балла, что соответствовало сильной либо ценной по качеству пшенице. Стандарт Злата характеризовался высокой оценкой – 4,8 балла (соответствует сильной по качеству пшенице). Максимальные значения (4,9 балла) отмечены у сортов Саратовская 74, Агата, Тризо и Канюк. На уровне стандарта находился широкий круг сортов (Тюменская 29, Алтайская Жница, Фаворит, Ирень, Бомбона, Л-57, Ласка, Арабелла), что свидетельствует о благоприятных условиях формирования хлебопекарных свойств в 2023 году (Приложение В.7; Приложение Г.1).

В 2024 году объёмный выход хлеба у изученных сортов существенно снизился и варьировал от 317,5 до 597,5 см³. Стандарт Злата составил 487,5 см³. Значительно более высокие значения зафиксированы у сортов Тулайковская 108 (597,5 см³), Золушка (557,5 см³), Ирень (517,5 см³), Тризо (520,0 см³) и Алтайская Жница (510,0 см³). Минимальный объёмный выход хлеба отмечен у сортов Гранни (317,5 см³), Гранова (332,5 см³), Учитель и Маргарита, что указывает на выраженное снижение хлебопекарных свойств в условиях данного года. Общая хлебопекарная оценка в 2024 году характеризовалась наибольшей амплитудой изменчивости – от 2,7 до 4,9 балла. Стандарт Злата имел оценку 4,2 балла. Более высокие значения у Золушки (4,9 балла), Тулайковской 108 (4,5 балла), Алтайской Жницы (4,4 балла) и Ирени (4,3 балла). Минимальные значения зафиксированы у сортов Гранни (2,7 балла), Маргарита и Учитель (по 2,9 балла), а также Гранова (3,2 балла), что свидетельствует о неблагоприятном влиянии условий года на формирование хлебопекарных качеств зерна (Приложение В.7; Приложение Г.1).

В целом за 2022–2024 гг. анализ результатов лабораторной выпечки показал выраженную зависимость хлебопекарных показателей от условий года и генотипических особенностей сортов. Наиболее стабильные и высокие значения объёмного выхода хлеба и общей хлебопекарной оценки демонстрировали сорта Ирень, Алтайская Жница, Тризо, Тулайковская 108 и Золушка. В 2024 году особенно выделялся сорт Золушка, сформировавший максимальную общую

хлебопекарную оценку, несмотря на общее снижение показателей у большинства сортов (табл. 4.3).

Коэффициент вариации объёмного выхода хлеба составил 10–32 %, что указывает на более выраженную изменчивость данного признака по сравнению с выходом муки (Приложение И.4). Наиболее стабильными по объёмному выходу хлеба были сорта Тризо и Золушка (10 %), а также Арабелла (12 %). Максимальная изменчивость отмечена у сорта Агата (32 %), а также у сортов Учитель (30 %), Маргарита и Фаворит (28 %).

Таблица 4.3 – Характеристика показателей лабораторной выпечки сортов яровой мягкой пшеницы в среднем за 2022–2024 гг.

Название	Выход муки, %	Цвет муки	Объёмный выход хлеба, см ³	Общая хлебопекарная оценка, балл
Злата (st)	66,8	светлая	557,5	4,5
Саратовская 74	67,6	светлая	541,7	4,4
Агата	67,0	светлая	603,3	4,4
Тулайковская 108	64,9	светлая	584,2	4,6
Симбирцит	64,6	светлая	492,5	4,2
Тюменская 29	66,4	светлая	536,7	4,4
Обская 2	63,4	светлая	509,2	4,3
Тобольская	68,0	серая	506,7	4,4
Алтайская Жница	66,0	светлая	584,2	4,6
Маргарита	66,9	светлая	472,5	3,9
Учитель	67,5	светлая	471,7	3,9
Фаворит	68,6	серая	570,0	4,4
Гранни	68,2	светло-серая	420,0	3,7
Тризо	68,7	серая	566,7	4,5
Ирень	67,8	светлая	582,5	4,6
Бомбона	66,4	серая	562,5	4,3
Л-57	64,9	светло-серая	570,8	4,4
Ласка	68,2	светлая	575,8	4,4
Арабелла	66,5	серая	548,3	4,4
Гранова	65,3	светлая	438,3	3,8
Мандарина	70,1	светлая	517,5	4,1
Золушка	68,4	голубовато-сизая	562,5	4,5
Канюк	64,9	светло-желтая	550,0	4,5
НСР ₀₅	4,4	-	65,4	0,57

*цвет муки оценивали визуально

Коэффициент вариации общей хлебопекарной оценки варьировал от 3 до 24 %. Наиболее стабильным по данному показателю был сорт Тулайковская 108 (3 %),

а также сорта Алтайская Жница (5 %), Ирень (6 %) и Злата (st) (7 %). Наибольшая изменчивость общей хлебопекарной оценки отмечена у сортов Гранни (24 %), Учитель (23 %) и Маргарита (22 %), что свидетельствует о нестабильном проявлении данного показателя в разные годы исследований (Приложение И.4).

4.4 Оценка хлебопекарных качеств зерна линий яровой мягкой пшеницы СИММУТ

В 2022 г. выход муки стандарта Злата составил 70,4 %. Почти у всех линий СИММУТ значения показателя варьировали вокруг стандартного уровня в 70%. Максимальное значение отмечено у линий №66 (74,6%), №152 (74,3%), №223 (71,6%) и №153 (71,5%). Более низкие значения по сравнению со Златой формировали линии №65 (66,5%), №221 (67,5%), №79 (68,0%), №70 (68,2%) и №147 (68,7%) – (Приложение В.8).

В 2023 году стандарт Злата показал максимальный уровень выхода муки 72,5%, тогда у большинства отмечалось снижение – 60,3–72,7%. Наиболее близкой к стандарту оказалась линия №66 (72,7%), минимальные значения отмечены у линии №65 (60,3%), №67 (65,5%), №70 (64,9%), №151 (64,6%) и №59 (66,8%) (табл. 4.4). Органолептическая оценка цвета муки показала, что светло-кремовая окраска была только у стандарта Злата и линий №23, №35, №65, №67, №79, №147 и №153. У остальных линий мука была серых оттенков, что не очень хорошо (Приложение С). В 2024 году выход муки также, как и сортов, был самым низким за три года исследований – 53,6–69,7%. У стандарта Злата он снизился до 57,4%, однако отмечались и более высокие значения – у линии №223 (69,7%) (Приложение В.8).

В среднем за 2022–2024 годы выход муки у линий варьировал от 63,3% до 70,8%. Наиболее высокое значение сформировала Линия №223 (70,8%), а также Линии №152 (67,9%), №66 (68,2%), №151 (67,3%) и №153 (67,3%). В целом линии показали стабильность этого признака по годам – коэффициенты вариации у большинства не превышают 10% (табл. 4.4).

Коэффициент вариации выхода муки у изученных селекционных линий СИММУТ варьировал от 1 до 14 %, что свидетельствует в целом о высокой или

умеренной стабильности данного показателя (Приложение И.4). Наиболее стабильным выход муки был у линий №223 (1 %), №70 (4 %), №65 и №151 (по 5 %). Наибольшая изменчивость данного признака отмечена у линий №23, №59 и №66 (по 14 %), а также у линии №67 (13 %).

Подавляющее большинство синтетических линий в 2022 году характеризовались высоким объемным выходом хлеба. Значения у стандарта Златы были высоки, однако ряд линий превзошли ее. Это линии №59 (900,0 см³), №67 (920,0 см³), №35 (710,0 см³), №66 (707,5 см³) и №151 (712,5 см³). Минимальные значения выявлены у линии №65 (350,0 см³), несмотря на высокое содержание в зерне белка и клейковины. Это свидетельствует о низкой способности зерна данной линии к формированию объёмного хлеба в условиях 2022 года. Общая хлебопекарная оценка в 2022 году у всех линий, исключая №65, превышала 4 балла, что соответствует уровню ценной и сильной по качеству (Приложение В.8; Приложение Г.2).

В 2023 году объёмный выход хлеба у линий СИММУТ снизился по сравнению с 2022 годом и варьировал от 350,0 до 635,0 мл. Тем не менее, у всех линий, за исключением №65 и №147, он превышал 500 см³. Наиболее высокие значения отмечены у линий №67 (635,0 мл), №152 (635,0 мл), №59 (630,0 мл) и №178 (620,0 мл). Наименьший объёмный выход хлеба вновь зафиксирован у линии №65 (350,0 мл), что указывает на устойчиво низкие хлебопекарные свойства данной линии в разные годы (табл.4.4). Общая хлебопекарная оценка, как и в прошлом году, превышала 4 балла, исключая линию №65 (Приложение В.8; Приложение Г.2).

В 2024 году объёмный выход хлеба у всех линий СИММУТ был ниже, чем в предыдущие годы (табл.4.4). Тем не менее, у большинства он превышал 500 см³. Самые высокие значения отмечены у линий №23 (627,5 см³), №59 (562,5 см³), №153 (540,0 см³) и №151 (512,5 см³). Минимальные значения зафиксированы у линии №147 (360,0 см³), а также у линий №65 и №215, что указывает на выраженное влияние условий года на формирование хлебопекарных свойств зерна (Приложение В.8; Приложение Г.2)

Коэффициент вариации объёмного выхода хлеба у линий изменялся в более широких пределах – от 4 до 33 %, что указывает на более выраженную зависимость данного признака от условий года. Наиболее стабильными по объёмному выходу хлеба были линии №153 и №223 (по 4 %), №65 (7 %), а также №23 и №187 (по 8 %). Наибольшая изменчивость отмечена у линий №67 (33 %), №59 (26 %), №66 (25 %) и №147 (23 %) (Приложение Г.4; Приложение И.4).

Таблица 4.4 – Характеристика показателей лабораторной выпечки линий яровой мягкой пшеницы СИММУТ в среднем за 2022–2024 гг.

Название	Выход муки, %	Цвет муки	Объёмный выход хлеба, см ³	Общая хлебопекарная оценка, балл
Злата (st)	66,8	светлая	557,5	4,5
Линия №23	64,1	светлая	622,5	4,5
Линия №35	66,1	светлая	611,7	4,4
Линия №59	63,9	светло-серая	697,5	4,6
Линия №65	63,3	светлая	365,0	3,3
Линия №66	68,2	светло-серая	560,8	4,4
Линия №67	63,7	светлая	679,2	4,7
Линия №70	65,2	светло-серая	541,7	4,0
Линия №79	63,4	светлая	546,7	4,5
Линия №147	65,3	светлая	470,0	4,0
Линия №150	65,2	светло-серая	594,2	4,3
Линия №151	67,3	светло-серая	611,7	4,2
Линия №152	67,9	светло-серая	587,5	4,4
Линия №153	67,3	светлая	550,0	4,4
Линия №178	64,4	светло-серая	602,5	4,5
Линия №187	64,8	серая	525,8	4,2
Линия №215	66,8	светло-серая	471,7	4,0
Линия №217	66,3	светло-серая	543,3	4,3
Линия №220	66,3	серая	553,3	4,4
Линия №221	64,5	серая	552,5	4,5
Линия №223	70,8	серая	514,2	4,4
НСР ₀₅	4,1	-	41,5	0,47

Общая хлебопекарная оценка в 2024 году варьировала от 3,3 до 4,3 балла. И не было ни одного образца, соответствующего уровню сильной пшеницы. Самые высокие значения получили линии №23, №59, №79, №153, №178, №220, №221 и №223 (4,3 балла). Минимальная оценка вновь отмечена у линии №65 (3,3 балла), что подтверждает её нестабильные и в целом пониженные хлебопекарные качества (Приложение В.8).

Коэффициент вариации общей хлебопекарной оценки у изученных линий составил 3–14 %, что свидетельствует о сравнительно высокой стабильности данного показателя у большинства генотипов. Наиболее стабильными были линии №23 и №65 (по 3 %), а также №153, №221 и №223 (по 4 %). Более высокой изменчивостью характеризовались линии №70 и №217 (по 14 %), №66, №150, №151 и №215 (по 13 %), что указывает на менее устойчивое проявление общей хлебопекарной оценки по годам исследований (Приложение И.4).

Анализ результатов лабораторной выпечки в целом за 2022–2024 гг. показал, что линии СИММУТ характеризуются высокой дифференциацией по объёмному выходу хлеба и общей хлебопекарной оценке. Наиболее высокие и стабильные показатели демонстрировали линии №23, №35, №59, №150, №151, №152, №153, №220. Они могут быть включены в селекционный процесс для получения новых сортов с высокими и стабильными хлебопекарными качествами (табл. 4.4)

ГЛАВА 5 РЕЗУЛЬТАТЫ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ГЕНОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Данная глава посвящена результатам молекулярно-генетической идентификации генов пшеницы: пшенично-ржаные транслокации 1AL.1RS и 1BL.1RS, генов короткостебельности (*Rht-B1b*, *Rht-D1b* и *Rht8c*), генов, контролирующих фотопериодизм *Ppd-1* (*Ppd-A1* и *Ppd-D1*), яровизации *Vrn-1* (*Vrn-A1*, *Vrn-B1* и *Vrn-D1*) и высокомолекулярных глютеинин-кодирующих локусов (HMW-GS) (*Glu-A1*, *Glu-B1* и *Glu-D1*).

5.1 Результаты молекулярно-генетической идентификации пшенично-ржаной транслокации 1AL.1RS и 1BL.1RS

Наличие пшенично-ржаной транслокации 1RS в геноме яровой мягкой пшеницы способствует улучшению её адаптации к условиям засухи и обеспечивает более высокий урожай при недостаточном увлажнении. Это, вероятно, связано с её положительным влиянием на развитие и функционирование корневой системы растений (Karki et al., 2014; Sharma et al., 2018). Особенно актуально это для условий Центрального Нечерноземья России, где именно яровая пшеница существенно страдает от майских и июньских засух, совпадающих с начальными, наиболее уязвимыми стадиями её развития (Игнатьева, 2015; Давыдова и др., 2020; Наджодов и др., 2025). Несмотря на очевидные преимущества транслокации 1RS, среди сортов яровой пшеницы российской селекции она встречается значительно реже, чем среди сортов озимой пшеницы. Вероятно, это объясняется её негативным влиянием на хлебопекарные качества зерна, что связано с присутствием ржаных секалинов на плече хромосомы 1RS (Chung et al., 2003; Krupnova, 2013). Высокие хлебопекарные качества зерна традиционно считаются важнейшими селекционными признаками именно для яровой пшеницы, что могло стать причиной раннего отрицательного отбора на наличие данной транслокации в селекционных программах.

В результате проведённого нами молекулярно-генетического анализа 43 образцов яровой мягкой пшеницы, с использованием специфичного микросателлитного маркера SCM9, было выявлено наличие пшенично-ржаных транслокаций 1BL.1RS и 1AL.1RS (рис. 5.1). В изученной коллекции транслокация 1AL.1RS была обнаружена только у одного образца французского сорта Канюк, тогда как транслокация 1BL.1RS была идентифицирована у пяти образцов селекции CIMMYT. Линии №35, №65, №67, №215 и №217 (только у линий CIMMYT). Также, в результате ПЦР-анализа выявили гетерогенность по 1BL.1RS у трех сортообразцов Золушка, Линий №23 и №59 (табл. 5.1, рис. 5.1)

В результате молекулярно-генетического анализа установлено, что среди изученной коллекции сортов и селекционных линий яровой мягкой пшеницы только сорт Фаворит характеризуется наличием пшенично-пырейного замещения. У данного сорта выявлена интрогрессия в виде пшенично-пырейного замещения с участием хромосомы *6Agi* пырея промежуточного (*Agropyron intermedium*), что ранее было подтверждено методами С-дифференциального окрашивания, флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH) и геномной гибридизации *in situ* (GISH) (Сибикеев и др., 2017). Наличие замещения *6Agi* у сорта Фаворит связано с интрогрессией генов устойчивости к болезням, в частности генов *Sr25* и *Sr6Agi*, обеспечивающих устойчивость к стеблевой ржавчине. Однако, согласно последним данным, полученным саратовскими исследователями, в условиях Нижнего Поволжья отмечена потеря эффективности данных генов устойчивости вследствие появления новых агрессивных рас патогена (Баранова и др., 2021).

Пшенично-ржаная транслокация 1BL.1RS происходит от сорта ржи немецкой селекции Петкус. Выявленная нами в указанных линиях CIMMYT, по всей видимости, имеет общее происхождение. Ранее установлено, что источником транслокации 1BL.1RS, широко используемой Международным центром улучшения кукурузы и пшеницы (CIMMYT), является от сорта ржи немецкой селекции Петкус (Petkus), обладающий устойчивостью к болезням и засухе (Schlegel, Korzun, 1997; Villareal et al., 1998). Это подтверждает, что выявленная транслокация 1BL.1RS, в данных образцах была внедрена через селекционные

программы CIMMYT и происходит от транслокации, первоначально созданной с участием сорта ржи Петкус (Moreno-Sevilla et al., 1995; Mujeeb-Kazi et al., 1998).

Следует отметить, что несмотря на потенциальные риски снижения хлебопекарных качеств, современные селекционные подходы позволяют компенсировать негативное влияние пшенично-ржаной транслокации 1BL.1RS, за счёт подбора подходящих генотипов. Например, недавно созданный сорт Марфа успешно сочетает наличие транслокации 1RS с высоким качеством и устойчивостью к грибным болезням (Давыдова и др., 2022; Торилов и др., 2025; Наджодов и др., 2025).

В результате анализа установлено, что среди изученной коллекции сортов и линий яровой мягкой пшеницы пшенично-ржаная транслокация 1AL.1RS выявлена только у французского сорта Канюк, тогда как у остальных образцов она отсутствует (табл. 5.1, рис. 5.1). Это свидетельствует о крайне ограниченном использовании ржаного генетического материала в селекции яровой пшеницы. Следует отметить, что в отличие от широко известной транслокации 1BL.1RS, связанной с ухудшением хлебопекарных свойств зерна вследствие присутствия секалинов (*Sec-1*), а не влиянием на глиадин-глютенин-кодирующие локусы 1AL.1RS не влияет на хлебопекарное качество зерна. Вероятнее всего, основная причина заключается в отсутствии исходных доноров данной транслокации в селекционных программах яровой мягкой пшеницы, а также в ограниченном вовлечении соответствующего генетического материала на ранних этапах селекции яровой мягкой пшеницы. В отличие от озимой пшеницы, где интрогрессии ржаного генома активно использовались для повышения устойчивости к болезням и стрессам, в селекции яровых форм такие источники применялись значительно реже. Таким образом, выявление транслокации 1AL.1RS только у сорта Канюк подчёркивает её уникальность в изученной коллекции и указывает на перспективность дальнейшего использования данного генотипа как потенциального донора ржаных генов устойчивости без существенного ухудшения качества зерна (табл. 5.1, рис. 5.1).

Таблица 5.1 – Распределение пшенично-ржаной транслокации 1RS среди сортов и линий яровой мягкой пшеницы

отсутствие транслокации 1RS	наличие транслокации	
	1BL.1RS	1AL.1RS
Злата, Агата, Саратовская 74, Агата, Тулайковская 108, Симбирцит, Тюменская 29, Обская 2, Тобольская, Алтайская Жница, Маргарита, Учитель, Фаворит, Гранни, Тризо, Ирень, Бомбона, Л-57, Ласка, Арабелла, Гранова, Мандарина, №66, №70, №79, №147, №150, №151, №152, №153, №178, №215, №220, №221, №223	Линий №35, №65, №67, №187, №217	Канюк
	гетерогенные: Золушка, Линий №23, №59	

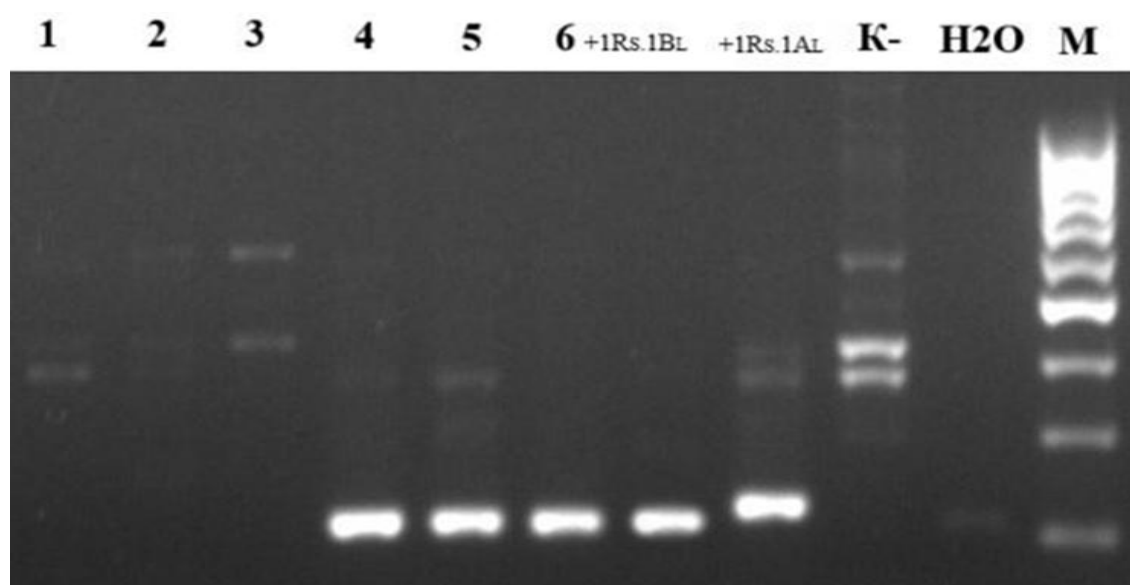


Рисунок 5.1 – Результаты ПЦР-анализа образцов яровой мягкой пшеницы с использованием микросателлитного маркера SCM9, специфичного к ржаной транслокации 1RS

Таким образом, выявленные нами линии с пшенично ржаной транслокацией 1AL.1RS и 1BL.1RS являются перспективным генетическим материалом для создания высокопродуктивных адаптивных сортов яровой пшеницы, устойчивых к абиотической и биотической среде в условиях Центрального Нечерноземья России.

5.2 Результаты молекулярно-генетической идентификации генов короткостебельности *Rht-B1*, *Rht-D1* и *Rht8*

Короткостебельность является одним из важнейших признаков селекции пшеницы, позволяющим повышать урожайность, устойчивость к полеганию и эффективность использования питательных веществ. На сегодняшний день известно 29 гена короткостебельности (*Rht*), однако наибольшее распространение в селекции получили гены *Rht-B1b* (= *Rht1*), *Rht-D1b* (= *Rht2*), а также *Rht8v* и *Rht-B1e* (= *Rht11*). Гены *Rht-B1b* и *Rht-B1e* являются мутантными аллелями гена *Rht-B1*, а *Rht-D1b* – гена *Rht-D1* (Ellis et al., 2002; Yaoqi et al., 2022).

Растения с аллелями *Rht-B1b* и *Rht-D1b* характеризуются низкой чувствительностью к экзогенной гиббереллиновой кислоте (ГК). Мутации в данных аллелях приводят к образованию стоп-кодона TAG вскоре после начала трансляции, что нарушает нормальную активность ГК и приводит к укорочению стебля. Подобная генетическая структура может отражать селекционные стратегии, ориентированные на сохранение высокой вегетативной массы, адаптивного потенциала и устойчивости растений к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам, поскольку зона Центрального Нечерноземья России относится к зоне рискованного земледелия (Коршунова и др., 2015; Черноок, 2023; Наджодов и др., 2025).

Проведённый молекулярно-генетический анализ указывает, что исходными донорами короткостебельности для сорта яровой мягкой пшеницы Гранни выступали формы озимой пшеницы. Это подтверждается родословной сорта Гранни (line U236g × winter wheat × line 513), от которого, по данным генотипирования, унаследован аллель *Rht-B1b* (= *Rht1*) и производным от него сортом Гранова (табл. 5.2, рис. 5.2). В наборе из 20 селекционных образцов CIMMYT носительство аллеля *Rht-B1b* (= *Rht1*) выявлено лишь у одной линии №153 (табл. 5.2, рис. 5.2). Низкая встречаемость данного аллеля в материале CIMMYT указывает на его ограниченное использование. «Так называемые нечувствительные к гиббереллиновой кислоте (ГК) варианты короткостебельности *Rht-B1b*, сопровождаются укорочением coleoptilia и ослаблением раннего

корнеобразования, что может снижать полевую всхожесть в засушливых условиях, где критично формирование глубокой корневой системы.

Аллель короткостебельности *Rht-D1b* (= *Rht2*) крайне редко встречается среди образцов яровой пшеницы. Единственным образцом, содержащим данный аллель, оказалась зелёнозерная форма Золушка (из коллекции ВИР). Остальные изученные образцы имели аллель дикого типа (*Rht-D1a*), что связано с нормальной высотой растений. (табл. 5.2, рис. 5.2).

Также по результатам проведённого молекулярно-генетического анализа установлено наличие генов *Rht8* (аллель *Rht8c*), ассоциированного с признаком короткостебельности, у ограниченного числа изученных образцов (табл. 5.2). В частности, ген *Rht8* (*Rht8c*) был идентифицирован у линий №65, №147 и №178. Следует отметить, что ген *Rht8c* относится к группе генов короткостебельности, не связанных с гиббереллиновой чувствительностью по сравнению с генами *Rht-B1b* и *Rht-D1b* (табл. 5.2, рис. 5.2).

Проведённый молекулярно-генетический анализ генов короткостебельности *Rht-B1b* (= *Rht1*), *Rht-D1b* (*Rht2*) и *Rht8* (аллель *Rht8c*) выявил ограниченное распространение данных генов среди изученных сортов и линий яровой мягкой пшеницы (табл. 5.2). Установлено, что аллель *Rht-B1b* (= *Rht1*) идентифицирован у ограниченного числа образцов, а именно у сортов Гранни, Гранова и линии №153, что свидетельствует о его точечном использовании в селекционном материале. Аллель *Rht-D1b* (= *Rht2*) оказался крайне редким среди исследованных образцов и выявлен только у одного сорта Золушка. Остальные генотипы характеризовались наличием дикого аллеля *Rht-D1a*, что обуславливает формирование нормальной высоты растений. Ограниченное распространение данного аллеля может быть связано с его более выраженным влиянием на морфологические признаки и возможным отрицательным влиянием на хозяйственно ценные признаки, в частности, снижение массы 1000 зерен и массы зерна с колоса. Анализ генов *Rht8* показал наличие аллеля *Rht8c* у трёх образцов линий №65, №147 и №178. В отличие от генов *Rht-B1b* и *Rht-D1b*, данный ген относится к гиббереллин-чувствительным и обеспечивает умеренное снижение высоты растений без отрицательного влияния

на продуктивность, что делает его ценным для селекции. В целом, большинство изученных сортов и линий не содержали исследуемых генов короткостебельности, что указывает на преобладание аллеля дикого типа (*Rht-B1a* и *Rht-D1a*) с нормальной высотой растений (табл. 5.2).

Таким образом, выявленные носители аллелей *Rht-B1b* (= *Rht1*), *Rht-D1b* (= *Rht2*) и *Rht8* (аллель *Rht8c*) представляют значительный селекционный интерес как источники генов короткостебельности и устойчивости к полеганию. Полученные результаты свидетельствуют о постепенном, но ограниченном внедрении генов короткостебельности в селекционные программы яровой мягкой пшеницы, что открывает перспективы для их более широкого использования при создании высокопродуктивных и адаптивных сортов для условий Центрального региона Нечернозёмной зоны России.

Таблица 5.2 – Распределение аллелей генов короткостебельности *Rht-B1*, *Rht-D1* и *Rht8*

Локус / маркер	Аллельный вариант	Размер фрагмента WMS261, п.н.	Образцы
<i>Rht-B1</i> , <i>Rht-D1</i>	Отсутствие аллелей короткостебельности <i>Rht-B1b</i> (= <i>Rht1</i>) и <i>Rht-D1b</i> (= <i>Rht2</i>)	—	Злата, Саратовская 74, Агата, Обская 2, Тулайковская 108, Симбирцит, Ирень, Тюменская 29, Л-57, Ласка, Учитель, Тризо, Фаворит, Арабелла, Канюк, Тобольская, Алтайская Жница, Маргарита, Мандарина, Линии №23, №35, №59, №65, №66, №67, №70, №79, №147, №150, №151, №152, №178, №187, №215, №217, №220, №221 и №223
<i>Rht-B1</i>	Наличие аллеля короткостебельности <i>Rht-B1b</i> (= <i>Rht1</i>)	—	Гранни, Гранова, Линия №153
<i>Rht-D1</i>	Наличие аллеля короткостебельности <i>Rht-D1b</i> (= <i>Rht2</i>)	—	Золушка
WMS261 / <i>Rht8</i>	Наличие аллеля <i>Rht8a</i>	165	Л-57, Арабелла, Агата, Ласка, Тобольская, Мандарина, Линии №23, №35, №59, №67, №70, №79, №150, №152, №153 и №187
WMS261 / <i>Rht8</i>	Наличие аллеля <i>Rht8b</i>	174	Злата, Саратовская 74, Тулайковская 108, Обская 2, Симбирцит, Алтайская Жница, Маргарита, Фаворит, Гранни, Ирень, Гранова, Золушка, Линии №66, №215, №217, №220, №221 и №223

WMS261 / <i>Rht8</i>	Наличие аллеля короткостебельности <i>Rht8c</i>	192	Линии №65, №147 и №178
WMS261 / <i>Rht8</i>	Наличие аллеля <i>Rht8d</i>	201	Канюк, Учитель и Линия №151
WMS261 / <i>Rht8</i>	Гетерогенное состояние по маркеру WMS261: <i>Rht8a/Rht8g</i>	165/196	Тризо, Бомбона и Тюменская 29

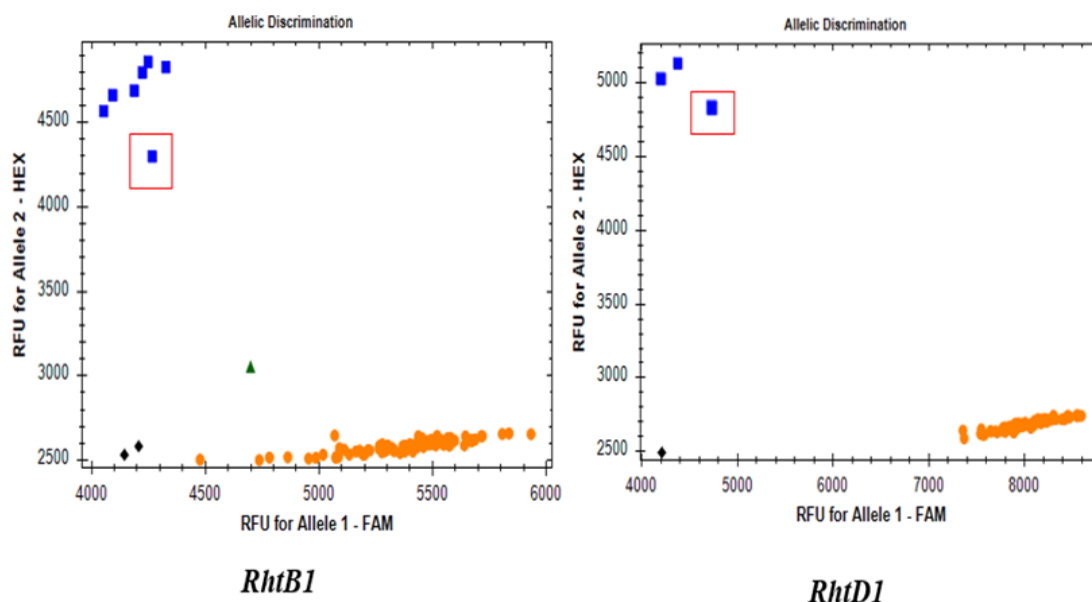


Рисунок 5.2 – Результаты молекулярно-генетической идентификации генов короткостебельности *Rht-B1*, *Rht-D1* полученные методом флуоресцентной ПЦР по конечной точке с использованием KASP-маркеров.

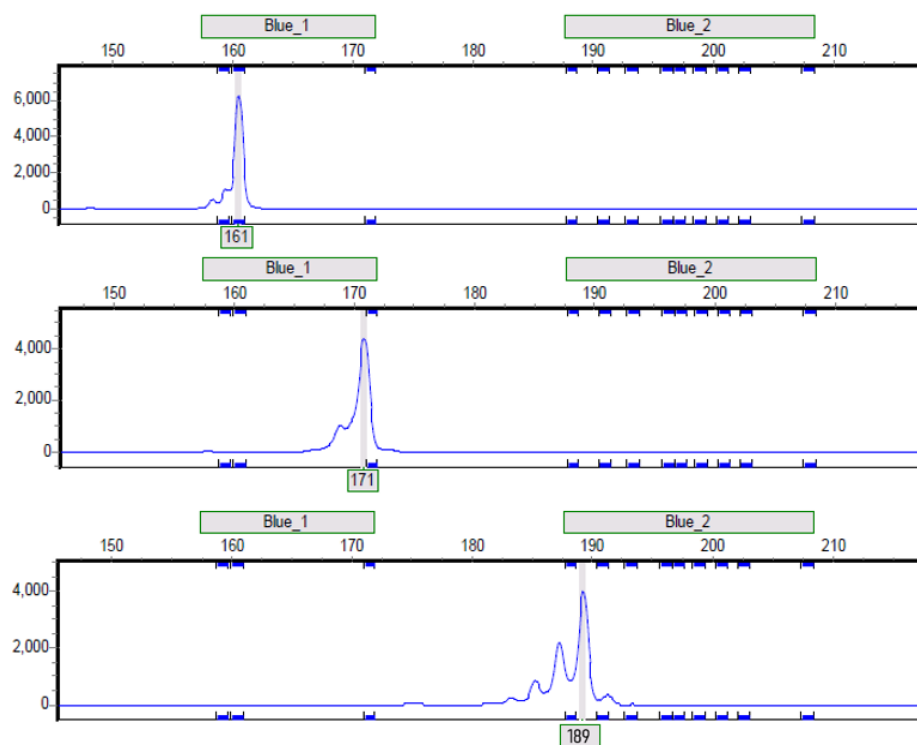


Рисунок 5.2.1 – Электрофореграмма анализа аллельного состояния для гена *Rht8* методом капиллярного электрофореза на Нанофоре-05, 189 п.н - контрольный сорт Васса. На картинке указаны относительные размеры ампликонов, без поправки на краситель FAM.

Так как капиллярный электрофорез является методом, который позволяет определить относительный размер ампликона, то в каждой постановке используется сорт с достоверно известным наличием искомого аллеля. В данном случае сорт Васса имеет размер 189 п.н. по электрофореграмме с прибора, что с поправкой на краситель FAM (используется при мечении праймера F Xgwm261), составляет 192 п.н. и относится к аллелю *Rht8c*, также 161 п.н. = 165 п.н. (*Rht8a*) и 171 п.н. = 174 п.н. (*Rht8b*).

5.3 Результаты молекулярно-генетической идентификации генов *Ppd-1*

Гены фотопериодической чувствительности (*Ppd-1*) регулируют время цветения растений в зависимости от длины дня. Чувствительные (функциональные) аллели, такие как *Ppd-D1b* у пшеницы заставляют растение «ждать» определённых фотопериодных условий (короткого или длинного дня) для перехода к цветению. Это задерживает цветение при неподходящей длине дня.

Напротив, нечувствительные, например, *Ppd-D1a*, отключают эту реакцию: растения с такими аллелями зацветают быстро и независимо от длины дня. Такая нечувствительность критически важна для адаптации к северным широтам и регионам с длинным летом, но коротким вегетационным периодом, поскольку позволяет завершить цикл развития до наступления неблагоприятных условий. Поэтому в данном случае с помощью KASP-анализа проводили идентификацию генов по отдельным локусам *Ppd-A1* и *Ppd-D1*, поскольку многочисленными исследованиями доказано, что именно эти локусы играют наибольшую роль в регуляции фотопериодической чувствительности у пшеницы (табл. 5.3, рис. 5.3).

ПЦР-анализ аллелей гена фотопериодической чувствительности по локусу *Ppd-A1* выявил идентичный аллельный состав у всех изученных сортов и селекционных линий. У всех образцов была идентифицирована аллель *Ppd-A1b*, обуславливающая чувствительность к длине светового дня (табл. 5.3, рис. 5.3). Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что в исследуемой коллекции преобладают генотипы, чувствительные к фотопериоду. Вместе с тем выявлена крайне низкая степень аллельного разнообразия по данному локусу, что, вероятно, обусловлено отсутствием или ограниченным использованием в селекционных программах доноров, несущих аллель нечувствительности *Ppd-A1a*, тогда как все изученные образцы несут чувствительный аллель *Ppd-A1b* (табл. 5.3, рис. 5.3). Анализ аллельного состояния гена фотопериодической чувствительности *Ppd-D1* у 43 исследованных образцов выявил полиморфизм по данному локусу (табл. 5.3). Установлено, что у подавляющего большинства образцов 38 из 43 (88,4%) идентифицирован рецессивный аллель *Ppd-D1b*, обуславливающий фотопериодическую чувствительность. Доминантный аллель *Ppd-D1a*, связанный с фотопериодической нечувствительностью, выявлен у трёх селекционных линий №35, №65 и №187 (7,0%). Носители аллеля *Ppd-D1a* переходят к цветению раньше и независимо от длины дня, что в условиях ЦРНЗ позволяет частично уходить от июльского дефицита влаги и от нарастающей к концу вегетации инфекционной нагрузки. Выявленные носители (линии №35, №65 и №187) представляют интерес как доноры фотопериодической нечувствительности, крайне редко встречающейся

в отечественном материале яровой пшеницы при данной длине дня. Кроме того, у трёх образцов (7,0%) сортов Мандарина и Золушка, а также линии №67 установлена гетерогенность по локусу *Ppd-D1* (*a+b*) (табл. 5.3, рис. 5.3).

Таким образом, структура аллельного распределения по локусу *Ppd-D1* характеризуется явным преобладанием аллеля *Ppd-D1b*, что отражает направленный селекционный отбор в пользу фотопериодической чувствительности и соответствует адаптации яровой мягкой пшеницы к условиям длинного светового дня Центрального региона Нечернозёмной зоны России. В то же время выявленные носители аллеля *Ppd-D1a* представляют значительный селекционный интерес, поскольку обеспечивают фотопериодическую нечувствительность и могут использоваться при создании скороспелых экологически пластичных сортов. В целом локус *Ppd-D1* в изученной коллекции характеризуется ограниченным, но функционально значимым аллельным разнообразием, при доминировании аллеля *Ppd-D1b* и наличии отдельных источников фотопериодической нейтральности (табл. 5.3).

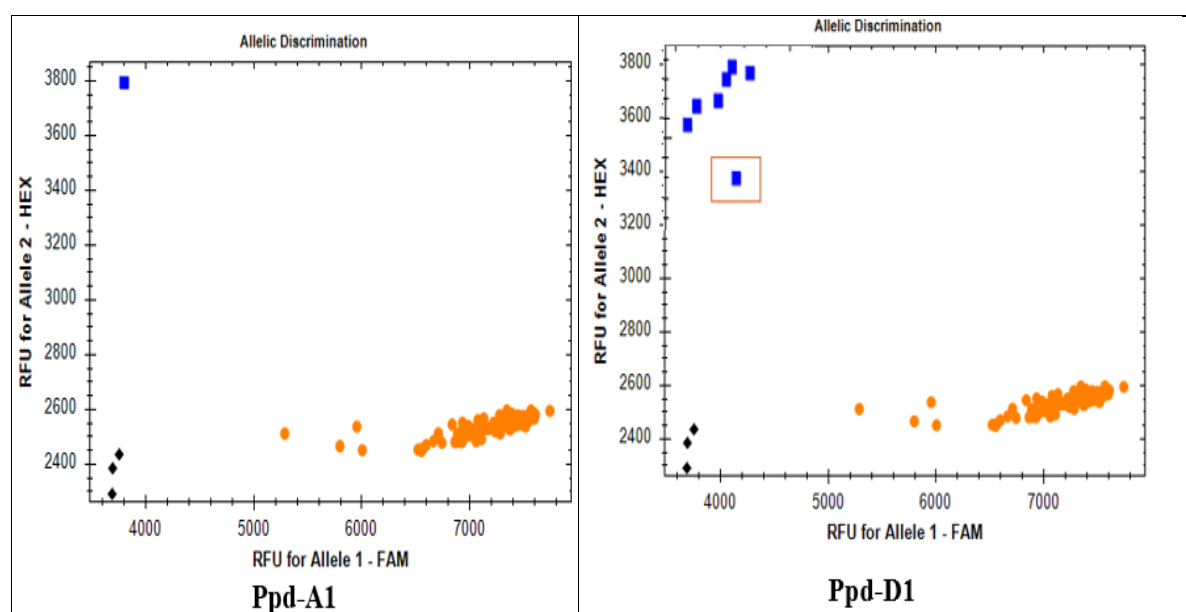


Рисунок 5.3 – Результаты молекулярно-генетической идентификации генов *Ppd-A1* и *Ppd-D1* полученные методом флуоресцентной ПЦР по конечной точке с использованием KASP-маркеров. Для *Ppd-A1* (слева): оранжевый (*Ppd-A1b*), синий (*Ppd-A1a*). Для *Ppd-D1* (справа): оранжевый (*Ppd-D1b*), синий (*Ppd-D1a*).

Чёрный отрицательный контроль (вода). Красным квадратом выделен контрольный сорт.

Таблица 5.3 – Распределение аллелей генов фотопериодической чувствительности *Ppd-1*

<i>Ppd-A1</i>	<i>Ppd-D1</i>	
	<i>Ppd-D1a</i> (нечувствительный)	<i>Ppd-D1b</i> (чувствительный)
<i>Ppd-A1b</i> (чувствительный)		
Злата, Саратовская 74, Агата, Тулайковская 108, Симбирцит, Тюменская 29, Обская 2, Л-57, Тобольская, Алтайская Жница, Гранова, Маргарита, Учитель, Тризо, Фаворит, Гранни, Ирень, Бомбона, Арабелла, Ласка, Мандарина, Канюк, Золушка, Линий №23, №35, №59, №65, №66, №67, №70, №79, №147, №150, №151, №152, №153, №178, №187, №215, №217, №220, №221 и №223	Линий №35, №65 и №187 Гетерогенные (Мандарина, Золушка и Линия №67)	Злата, Саратовская 74, Агата, Тулайковская 108, Симбирцит, Тюменская 29, Обская 2, Тобольская, Алтайская Жница, Тризо, Маргарита, Учитель, Л-57, Фаворит, Гранни, Ирень, Бомбона, Ласка, Арабелла, Гранова, Канюк, Линий №23, №59, №66, №70, №79, №147, №150, №151, №152, №153, №178, №215, №217, №220, №221 и №223

5.4 Результаты молекулярно-генетической идентификации генов *Vrn-1*

Локус *Vrn-A1*. Анализ аллельного состояния генов по локусу *Vrn-A1* у 43 исследованных образцов показал преобладание доминантного аллеля *Vrn-A1b*, характерного для ярового типа развития. Рецессивные аллели, обуславливающие озимый тип развития, встречались значительно реже. Так, аллель *vrn-A1a* выявлен у ряда генотипов (сорт Тобольская и линии №59, №67, №79, №153, №178, №187, №215), тогда как аллель *vrn-A1b* обнаружен лишь у отдельных линий (№35 и №65). Кроме того, у линий №150 и №151 отмечено гетерогенное состояние (*a+b*) по данному локусу. Таким образом, локус *Vrn-A1* характеризуется выраженным доминированием аллеля ярового типа (*Vrn-A1b*), что подтверждает селекционную ценность для маркер-опосредованной селекции (табл. 5.4).

Локус *Vrn-B1*. По локусу *Vrn-B1* выявлено более выраженное аллельное разнообразие по сравнению с *Vrn-A1*. Доминантный аллель *Vrn-B1*, обеспечивающий яровой тип развития, установлен у значительной части образцов, включая большинство селекционных линий СИММУТ. Рецессивный аллель *vrn-B1* (озимый тип развития) встречался ограниченно и выявлен у отдельных сортов и линий (Злата, Тобольская, Бомбона, линия №23). Наряду с этим у ряда генотипов (Симбирцит, Тулайковская 108, Тюменская 29, Гранни, Тризо, Ирень, Арабелла,

Золушка и др.) отмечено гетерогенное состояние. Также у части образцов (Обская 2, Маргарита, Учитель, Фаворит, линии №70, №220, №221) наблюдалось отсутствие амплификации (табл. 5.4).

Локус *Vrn-D1*. Анализ локуса *Vrn-D1* показал преобладание рецессивного аллеля *vrn-D1*, характерного для озимого типа развития. Данный аллель выявлен у большинства изученных образцов, включая практически все сорта, что свидетельствует о его доминирующем положении в исследуемой коллекции. Доминантный аллель *Vrn-D1*, обеспечивающий яровой тип развития, обнаружен лишь у ограниченного числа селекционных линий СИММУТ (№35, №67, №79, №147, №187, №221, №223). Кроме того, у ряда генотипов (сорт Золушка и линии №66, №150, №151, №153, №178, №215) выявлено гетерогенное состояние. Таким образом, локус *Vrn-D1* характеризуется доминированием рецессивного аллеля *vrn-D1* (табл. 5.4).

Таблица 5.4 – Распределение аллелей генов реакции на яровизацию *Vrn-I*

<i>Vrn-A1</i>	<i>Vrn-B1</i>	<i>Vrn-D1</i>
<i>vrn-A1</i> (озимый)	<i>vrn-B1</i> (озимый)	<i>vrn-D1</i> (озимый)
Тобольская, Линии: №35, №59, №65, №67, №79, №153, №178, №187 и №215, №35, №65	Злата, Тобольская, Бомбона и Линия №23	Злата, Саратовская 74, Агата, Тулайковская 108, Симбирцит, Тюменская 29, Обская 2, Тобольская, Алтайская Жница, Маргарита, Учитель Фаворит, Гранни Тризо, Ирень, Бомбона Ласка, Арабелла Гранова, Мандарина, Канюк Линий №23, №59, №70, №152, №217, №220
<i>Vrn-A1</i> (яровой)	<i>Vrn-B1</i> (яровой)	
Злата, Саратовская 74, Агата, Тулайковская 108, Симбирцит, Тюменская 29, Обская 2, Маргарита, Учитель Фаворит, Гранни, Тризо, Ирень Бомбона, Ласка, Л-57, Арабелла Гранова, Мандарина Канюк, Золушка, Линия №23	Саратовская 74 Агата, Алтайская Жница, Ласка, Гранова, Мандарина, Л-57, №59, №65, №66, №67, №79, №147, №150, №151, №152, №153, №178, №187, №215, №217 и №223	
Гетерогенные: Линии №150, №151	Гетерогенные; Тулайковская 108, Симбирцит, Тризо, Ирень, Тюменская 29, Гранни, Арабелла Золушка, Линий, №35	<i>Vrn-D1</i> (яровой)
		Линии: №35, №67, №79, №147, №187, №221 и №223
	Отсутствие бэнда: Обская 2, Маргарита, Учитель, Фаворит, Линий №70, №220 и №221	Гетерогенные; Золушка Линий №66, №150, №151, №153, №178 и №215

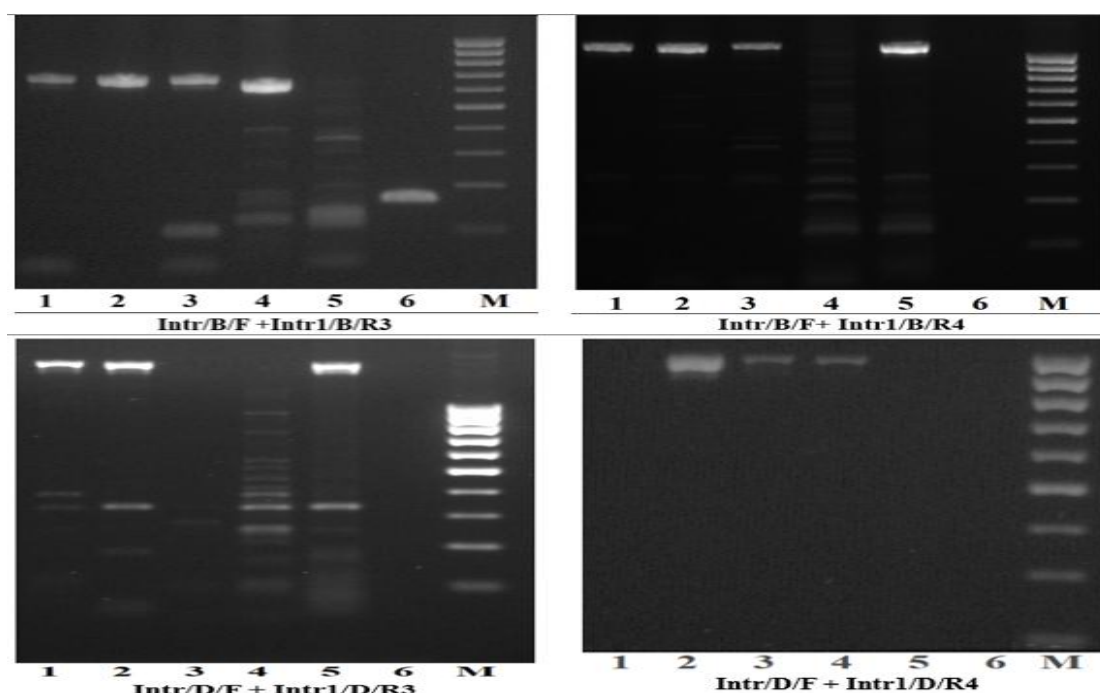


Рисунок 5.4. – Результаты молекулярно-генетической идентификации генов *Vrn-B1* и *Vrn-D1* методом ПЦР с электрофоретическим анализом. Верхний левый (Intr/B/F + Intr1/B/R3) – амплификация доминантного аллеля *Vrn-B1* (709 п. н.); Верхний правый (Intr/B/F + Intr1/B/R4) – амплификация рецессивного аллеля *vrn-B1* (1149 п. н.); Нижний левый (Intr/D/F + Intr1/D/R3) – амплификация доминантного аллеля *Vrn-D1* (1671 п. н.); Нижний правый (Intr/D/F + Intr1/D/R4) – амплификация рецессивного аллеля *vrn-D1* (997 п. н.).

Молекулярно-генетический анализ аллельного состояния локусов *Vrn-A1*, *Vrn-B1* и *Vrn-D1* показал различное соотношение доминантных яровых, рецессивных озимых и гетерогенных генотипов в изученной коллекции яровой мягкой пшеницы. По локусу *Vrn-A1* у большинства образцов был выявлен доминантный яровой аллель *Vrn-A1b* – 72 % коллекции яровой мягкой пшеницы (табл. 5.4).

Рецессивный озимый аллель *vrn-A1* встречался у 23 % образцов, тогда как гетерогенное состояние локуса было установлено у 5 % генотипов. По локусу *Vrn-B1* также преобладали носители доминантного ярового аллеля *Vrn-B1*, доля которых составила 63 %. Рецессивный озимый аллель *vrn-B1* был выявлен у 26 % образцов, а гетерогенные генотипы составили 11 %. Иная картина была установлена по локусу *Vrn-D1*. В отличие от локусов *Vrn-A1* и *Vrn-B1*, преобладали носители рецессивного озимого аллеля *vrn-D1*, доля которых составила 65 %.

Доминантный яровой аллель *Vrn-D1* был выявлен у 19 % образцов, а гетерогенное состояние локуса – у 16 % генотипов (рис. 5.4).

Таким образом, в изученной коллекции по локусам *Vrn-A1* и *Vrn-B1* преобладали доминантные яровые аллели, тогда как по локусу *Vrn-D1* чаще встречался рецессивный озимый аллель (табл. 5.4, рис. 5.4).

5.5 Результаты молекулярно-генетической идентификации высокомолекулярных глютеинин-кодирующих локусов *Glu-1* (HMW-GS)

Молекулярно-генетический анализ HMW-GS локусов выявил значительное аллельное разнообразие по локусам *Glu-A1*, *Glu-B1* и *Glu-D1* у изученных сортов и линий яровой мягкой пшеницы (табл. 5.5; Приложение Е.1; Приложение Д).

По локусу *Glu-A1* установлены три аллельных варианта: *Glu-A1a* (1), *Glu-A1b* (2*) и *Glu-A1c* (Null). Наиболее распространённым оказался аллель *Glu-A1b*, выявленный у 57,8% образцов и ассоциированный с высоким качеством клейковины (3 балла по шкале Пейна). Аллель *Glu-A1a* обнаружен у 31,1% образцов и также характеризовался положительным влиянием на качество зерна. Нуль-аллель *Glu-A1c*, связанный с пониженной технологической ценностью, выявлен только у линий №65 и №187 (табл. 5.5; Приложение Д).

По локусу *Glu-B1* выявлено пять аллельных вариантов: *Glu-B1a* (7+9), *Glu-B1b* (7+8), *Glu-B1f* (13+16), *Glu-B1i* (17+18) и *Glu-B1h* (14+15). Наиболее распространённым был аллель *Glu-B1a* (7+9), обнаруженный у 60,0% образцов и характеризующийся сравнительно низкой хлебопекарной оценкой. Аллель *Glu-B1b* (7+8), связанный с высокими хлебопекарными качествами, выявлен у 24,4% образцов. Редкие и ценные аллели *Glu-B1f* (13+16) и *Glu-B1i* (17+18) установлены у отдельных линий CIMMYT и оценивались в 3 балла по шкале Пейна (табл. 2.8). Аллель *Glu-B1h* (14+15) выявлен у сортов Бомбона и Канюк и рассматривается как благоприятный по современным литературным данным (Tabbitta et al., 2024).

По локусу *Glu-D1* выявлены два основных аллеля: *Glu-D1a* (2+12) и *Glu-D1d* (5+10). Наиболее ценным оказался аллель *Glu-D1d*, ассоциированный с высокими хлебопекарными качествами зерна и максимальной оценкой по шкале Пейна (4

балла); он выявлен у 55,6% образцов. Аллель *Glu-D1a*, с более низкими технологическими качествами клейковины, обнаружен у 44,4% образцов (табл. 5.5; Приложение Д).

Оценка аллельных комбинаций высокомолекулярных субъединиц глютеина по шкале Пейна показала значительную дифференциацию сортов и линий яровой мягкой пшеницы по потенциальной хлебопекарной ценности. Максимальную оценку 10 баллов получили образцы с наиболее благоприятными комбинациями аллелей локусов *Glu-A1*, *Glu-B1* и *Glu-D1*: сорта Злата, Агата, Бомбона, Канюк, Л-57, а также линии №23, №35, №59, №66, №67 и №151. (табл. 5.5).

Наличие у данных образцов аллеля *Glu-D1d*, контролирующего субъединицы 5+10, в сочетании с ценными вариантами локусов *Glu-A1* и *Glu-B1*, свидетельствует об их высокой потенциальной ценности для селекции на улучшение хлебопекарных свойств зерна. Высокие оценки – 9 баллов и 8– 9 баллов – были отмечены у сортов Ласка, Агата, Тобольская, Тюменская 29, Обская 2, Алтайская Жница, Маргарита, Учитель, Фаворит, а также у линий №147, №150, №152, №178, №217, №221. Эти генотипы также представляют интерес как источники благоприятных аллельных комбинаций высокомолекулярных глютеинов. Образцы с оценкой 8 баллов и ниже характеризовались менее выраженным потенциалом по данному показателю, однако могут сохранять селекционную ценность при сочетании с высокой продуктивностью, устойчивостью к болезням и другими хозяйственно ценными признаками (табл. 5.5).

Таблица 5.5 – Распределение аллельных комбинаций высокомолекулярных глютенин-кодирующих локусов (HMW-GS) у сортов и линий яровой мягкой пшеницы и их оценка по шкале Пейна

Комбинация	Аллельная формула	Балл	n=	Сорта и линии
1 / 13+16 / 5+10	<i>Glu-A1a / Glu-B1f / Glu-D1d</i>	10	1	Линия №151
1 / 14+15 / 5+10	<i>Glu-A1a / Glu-B1b / Glu-D1d</i>	10	1	Канюк
1 / 7+8 / 5+10	<i>Glu-A1a / Glu-B1b / Glu-D1d</i>	10	3	Л-57, Линии №35 и №59
2* / 13+16 / 5+10	<i>Glu-A1b / Glu-B1f / Glu-D1d</i>	10	1	Линия №67
2* / 14+15 / 5+10	<i>Glu-A1b / Glu-B1b (Glu-B1h) / Glu-D1d</i>	10	1	Бомбона
2* / 7+8 / 5+10	<i>Glu-A1b / Glu-B1b / Glu-D1d</i>	10	4	Злата, Линии №23 и №66
1 / 7+9 / 5+10	<i>Glu-A1a / Glu-B1c / Glu-D1d</i>	9	2	Ласка, Линия №147
2* / 7+9 / 2+12	<i>Glu-A1b / Glu-B1c / Glu-D1c</i>	9	1	Тобольская
2* / 7+9 / 5+10	<i>Glu-A1b / Glu-B1c / Glu-D1d</i>	8–9	11	Агата, Тюменская 29, Обская 2, Алтайская Жница, Маргарита, Учитель, Фаворит, Линии №150, №152, №178, №217 и №221
1 / 17+18 / 2+12	<i>Glu-A1a / Glu-B1i / Glu-D1a</i>	8	1	Линия №70
1 / 7+8 / 2+12	<i>Glu-A1a / Glu-B1b / Glu-D1a</i>	8	1	Золушка
2* / 17+18 / 2+12	<i>Glu-A1b / Glu-B1i / Glu-D1a</i>	8	1	Линия №153
2* / 7+8 / 2+12	<i>Glu-A1b / Glu-B1b / Glu-D1a</i>	8	2	Ирень, Линия №79
Null / 7+8 / 5+10	<i>Glu-A1c / Glu-B1b / Glu-D1d</i>	8	1	Линия №187
1 / 7+9 / 2+12	<i>Glu-A1a / Glu-B1c / Glu-D1a</i>	7	6	Гранни, Тризо, Арабелла, Гранова, Мандарина, Линия №220
2* / 7+9 / 2+12	<i>Glu-A1b / Glu-B1c / Glu-D1a</i>	7	5	Саратовская 74, Тулайковская 108, Симбирцит, Линии №215 и №223
Null / 7+9 / 2+12	<i>Glu-A1c / Glu-B1c / Glu-D1a</i>	5	1	Линия №65

ГЛАВА 6. ИТОГОВАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ И ЛИНИЙ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПО КОМПЛЕКСУ ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ

В данной главе представлена итоговая оценка изучаемой коллекции сортов и линий яровой мягкой пшеницы между фенотипическими и молекулярно-генетическими данными. Проведён статистический анализ взаимосвязей фенотипических и генотипических данных. Также проведён корреляционный анализ Пирсона и комплексная (индексная) оценка, на основании которых выделены наиболее перспективные сорта и линии, представляющие интерес для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья России. Также представлены полученные нами гибридные комбинации и новый селекционный материал, созданные на основе выделенных доноров хозяйственно ценных признаков и известных генов, представляющих селекционную ценность.

6.1 Влияние генов короткостебельности *Rht-B1* на высоту растений

Влияние аллельного состояния локуса *Rht-B1* оценивали на уровне генотипов, поскольку носителями аллеля *Rht-B1b* в изученной коллекции являются лишь три образца (Гранни, Гранова, линия №153) и растения внутри образца не являются независимыми наблюдениями для генетического сравнения. Средняя за 2022–2024 гг. высота носителей *Rht-B1b* составила 66,8 см против 74,7 см у 39 генотипов дикого типа, то есть на 7,9 см (10,6 %) ниже ($p = 0,040$, критерий Манна–Уитни). Сорт Золушка — единственный носитель *Rht-D1b* — имел высоту 65,2 см, что также ниже среднего по коллекции. Носители аллеля *Rht8c* (линии №65, №147 и №178) снижения высоты не проявили (76,2 см против 73,9 см в среднем по коллекции), что ожидаемо: диагностическим для *Rht8* является длина фрагмента сцепленного маркера Xgwm261, и в материале, не восходящем к источнику Akakomugi, его прогностическая ценность ограничена. При трёх носителях полученная оценка величины эффекта носит предварительный характер; для её уточнения необходимы изогенные линии или расщепляющиеся популяции. (рис.6.1.1).

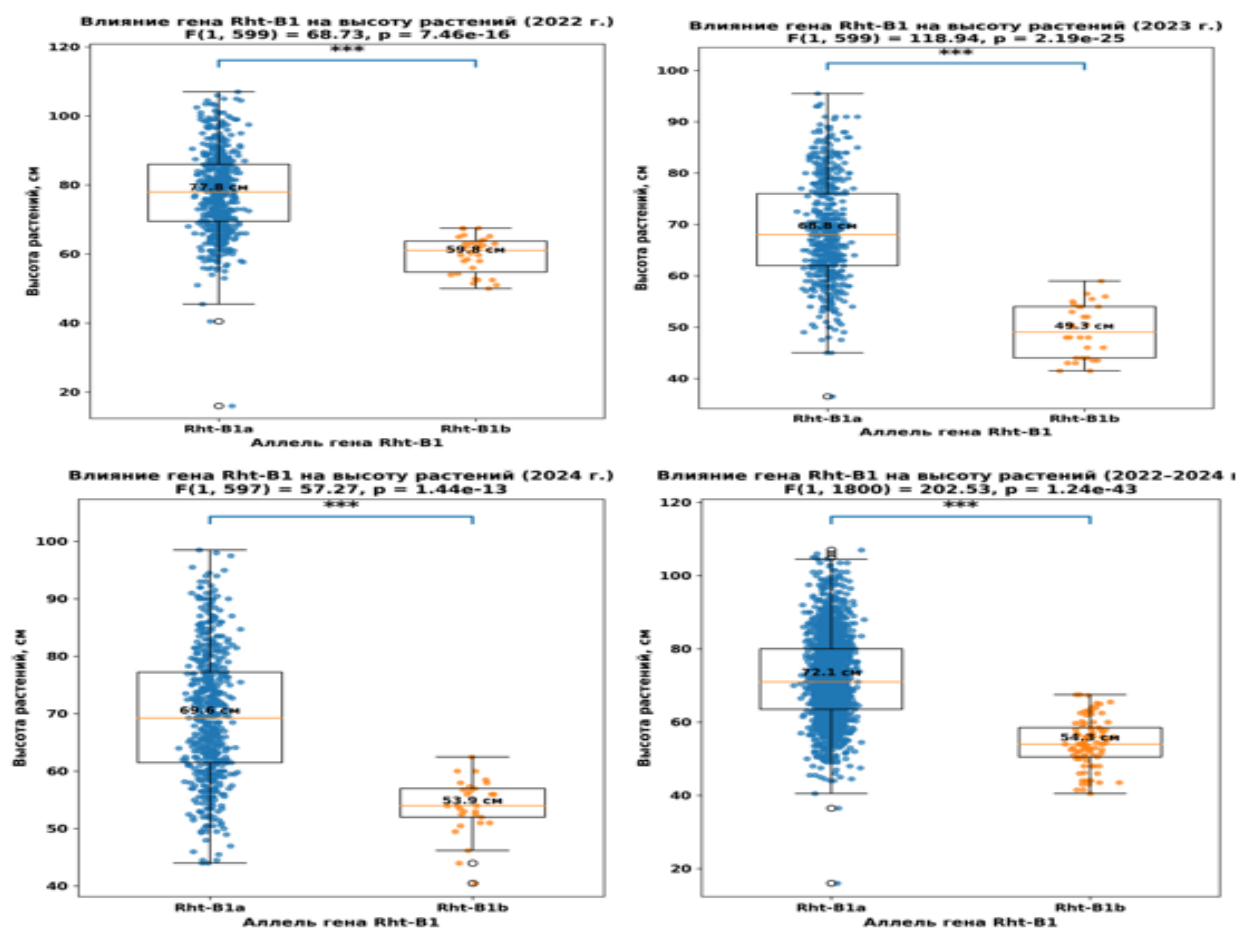


Рисунок 6.1. – Достоверное влияние гена короткостебельности *Rht-B1b* на снижение высоты растений



Рисунок 6.1.1. Фенотипическое проявление аллелей генов карликовости *Rht* у сортов и линий яровой мягкой пшеницы

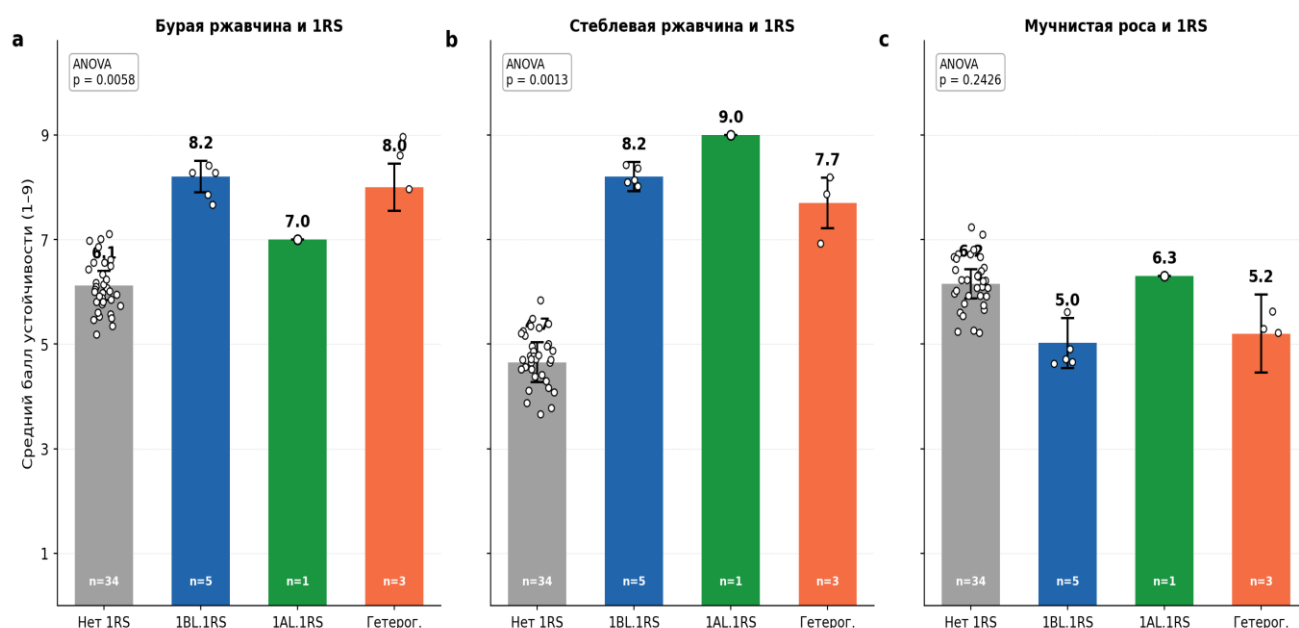
*Примечание. *Rht-B1a/Rht-D1a* – аллель дикого типа (сорт Тулайковская 108); *Rht-B1b* (Гранни, Гранова, линия №153); *Rht-D1b* – Золушка; *Rht8c* (линия №65)

Таким образом, аллель гена короткостебельности *Rht-B1b* является одним из наиболее эффективных генетических факторов контроля короткостебельности и представляет значительный интерес для селекции сортов, устойчивых к полеганию.

6.2 Влияние пшенично-ржаных транслокаций 1RS на устойчивость к грибным болезням

Носители транслокации 1BL.1RS достоверно превосходили образцы без транслокации по устойчивости к стеблевой ржавчине (8,2 против 4,6 балла; $p = 0,001$) и к бурой ржавчине (8,0 против 6,1 балла; $p = 0,006$). Поскольку пять из шести носителей относятся к линиям CIMMYT, сравнение было повторено внутри этой группы: достоверным осталось только преимущество по стеблевой ржавчине

(8,2 против 4,8 балла; $p = 0,018$), тогда как различие по бурой ржавчине оказалось в пределах ошибки ($p = 0,15$). По устойчивости к мучнистой росе носители 1RS не превосходили остальные образцы (5,2 против 6,1 балла; $p = 0,24$). Полученная картина закономерна: транслокация 1RS несёт сцепленный блок генов *Sr31*, *Lr26*, *Yr9* и *Pm8*, из которых в современных популяциях патогенов эффективность в значительной мере сохраняет *Sr31*, тогда как *Lr26* и *Pm8* преодолены. Таким образом, в условиях ЦРНЗ носители 1BL.1RS представляют ценность прежде всего как источники устойчивости к стеблевой ржавчине (рис. 6.2).



Примечание. 1BL.1RS (генотипы-носители транслокации 1BL.1RS); 1AL.1RS (генотип-носитель транслокации 1AL.1RS); Гетерог. (генотипы, гетерогенные по наличию транслокации 1BL.1RS); Нет 1RS (генотипы без пшенично-ржаных транслокаций, n = 34). Столбцы — средние значения устойчивости; планки погрешности — SE; точки — отдельные генотипы. p — критерий Уэлча (вся коллекция, 1RS vs без 1RS).

Рисунок 6.2 – Влияние пшенично-ржаных транслокаций 1AL.1RS и 1BL.1RS на устойчивость сортообразцов яровой мягкой пшеницы к грибным болезням: а – бурая ржавчина; б – стеблевая ржавчина; в – мучнистая роса.

6.3 Влияние аллельного состояния локуса *Vrn-A1* на продолжительность вегетационного периода

Сравнение генотипов по аллельному состоянию локуса *Vrn-A1* выполнено на уровне образцов (10 носителей рецессивного аллеля *vrn-A1* против 31 носителя доминантного *Vrn-A1*; t-критерий Уэлча). Носители доминантного аллеля достоверно раньше выколашивались во все три года: разность составила 1,9 сут в 2022 г. ($p = 0,011$), 2,5 сут в 2023 г. ($p = 0,001$) и 3,7 сут в 2024 г. ($p = 0,001$), в

среднем 2,7 сут (44,1 против 41,4 сут; $p = 0,001$). Продолжительность периода «колошение–спелость» от аллельного состояния *Vrn-A1* не зависела ни в один год ($p = 0,21$ – $0,42$), поэтому различие по вегетационному периоду целиком формируется на первой половине вегетации: в среднем 91,6 против 89,6 сут ($p = 0,020$), при этом в наиболее коротком по вегетации 2024 г. различие не достигало уровня значимости ($p = 0,256$). Величина эффекта (2–4 сут) согласуется с представлением о *Vrn-A1* как о локусе, определяющем прежде всего темп перехода к репродуктивному развитию, а не длительность налива (табл. 6.3).

Таблица 6.3 – Достоверное влияние аллельного состояния локуса *Vrn-A1* на продолжительность межфазных и вегетационного периода

Фаза	Год	<i>vrn-A1</i> (n = 10), сут	<i>Vrn-A1</i> (n = 31), сут	Разность	p
Всходы–колошение	2022	46,0	44,1	1,9	0,011
Всходы–колошение	2023	49,0	46,5	2,5	0,001
Всходы–колошение	2024	37,4	33,7	3,7	0,001
Всходы–колошение	среднее	44,1	41,4	2,7	0,001
Колошение–спелость	2022	33,2	32,5	0,7	0,411
Колошение–спелость	2023	42,0	42,8	–0,8	0,249
Колошение–спелость	2024	34,0	35,5	–1,5	0,214
Колошение–спелость	среднее	36,4	36,9	–0,5	0,422
Вегетационный период	2022	88,2	85,5	2,7	0,031
Вегетационный период	2023	101,0	99,1	1,9	0,002
Вегетационный период	2024	85,5	84,2	1,3	0,256
Вегетационный период	среднее	91,6	89,6	1,9	0,020

Полученные результаты свидетельствуют о значимой роли локуса *Vrn-A1* в регуляции темпов развития растений и подтверждают перспективность использования аллеля *Vrn-A1* при селекции скороспелых сортов яровой мягкой пшеницы для условий Центрального Нечерноземья России.

6.4 Оценка хлебопекарного качества зерна при наличии пшенично-ржаных транслокаций 1RS

Прямое сопоставление показателей лабораторной выпечки не выявило снижения объёмного выхода хлеба (545,8 против 540,3 см³) и общей хлебопекарной оценки (4,2 против 4,3 балла) у носителей транслокации 1RS. При шести носителях доверительный интервал разности по объёмному выходу широк (–105...+116 см³),

поэтому корректно говорить об отсутствии обнаруженного снижения, а не о доказанной эквивалентности. Единственным показателем, по которому носители 1RS достоверно уступали остальным образцам, оказался выход муки: 64,9 против 66,7 % (разность $-1,8$ %; 95 % ДИ $-3,1 \dots -0,5$ %; $p = 0,012$). Оценка по шкале Пейна подтверждает, что снижения потенциала качества по составу высокомолекулярных глютелинов у носителей 1RS нет: пять из шести получили 8–10 баллов, и единственное низкое значение (линия №65, 5 баллов) обусловлено нуль-аллелем *Glu-A1c* и аллелем *Glu-D1a* (2+12), а не транслокацией

Таблица 6.3 – Влияние пшенично-ржаных транслокаций 1RS на хлебопекарные качества зерна яровой мягкой пшеницы

Показатель	1RS (n = 6)	без 1RS (n = 34)	Разность	95 % ДИ	p
Объёмный выход хлеба, см ³	545,8	540,3	+5,6	$-104,5 \dots +115,6$	0,90
Общая хлебопекарная оценка, балл	4,2	4,3	-0,1	—	0,76
Выход муки, %	64,9	66,7	-1,81	$-3,09 \dots -0,53$	0,012

6.5 Анализ корреляционных связей

Для выявления взаимосвязей между хозяйственно ценными признаками у сортов и линий яровой мягкой пшеницы был проведён корреляционный анализ. В основной текст включены результаты, рассчитанные по средним значениям за 2022–2024 гг. Корреляционные матрицы по отдельным годам исследований приведены в приложении: 2022 г., 2023 г. и 2024 г. (Приложение Ж.2).

Анализ корреляционных связей между 15 хозяйственно ценными признаками по средним значениям за 2022–2024 гг. показал наличие ряда статистически значимых положительных и отрицательных взаимосвязей. Установлена средняя положительная корреляция между продолжительностью периода «всходы–колошение» и вегетационным периодом ($r = 0,65^{**}$). Вегетационный период также положительно коррелировал с массой 1000 зерен ($r = 0,38^{*}$), что может указывать на связь более продолжительного развития с повышением выполненности зерна (рис. 6.5; Приложение Ж.2).

Урожайность имела положительные корреляции с массой 1000 зерен ($r = 0,33^{*}$) и выходом муки ($r = 0,35^{*}$). В то же время выявлены выраженные

отрицательные связи урожайности с содержанием белка ($r = -0,64^{**}$) и клейковины ($r = -0,67^{**}$), что подтверждает наличие обратной зависимости между продуктивностью и отдельными показателями качества зерна. Масса зерна с главного колоса положительно коррелировала с массой 1000 зерен ($r = 0,43^{**}$), а число зерен с главного колоса – с натурой зерна ($r = 0,43^{**}$). Длина колоса, напротив, имела отрицательную связь с натурой зерна ($r = -0,36^{*}$). Среди показателей качества зерна наиболее важные связи выявлены для стекловидности, содержания белка и клейковины. Стекловидность зерна положительно коррелировала с содержанием белка ($r = 0,55^{**}$), клейковины ($r = 0,47^{**}$), объемным выходом хлеба ($r = 0,48^{**}$) и общей хлебопекарной оценкой ($r = 0,31^{*}$). Наиболее тесная взаимосвязь установлена между содержанием белка и клейковины ($r = 0,98^{**}$). Кроме того, содержание белка и клейковины положительно коррелировало с объемным выходом хлеба ($r = 0,43^{**}$ и $r = 0,42^{**}$ соответственно), но имело отрицательные связи с выходом муки (рис. 6.4). Наиболее высокая корреляция среди технологических показателей выявлена между объемным выходом хлеба и общей хлебопекарной оценкой ($r = 0,84^{**}$), что свидетельствует о высокой согласованности этих признаков при оценке хлебопекарных свойств зерна. (Рис. 6.5; Приложение Ж.2).

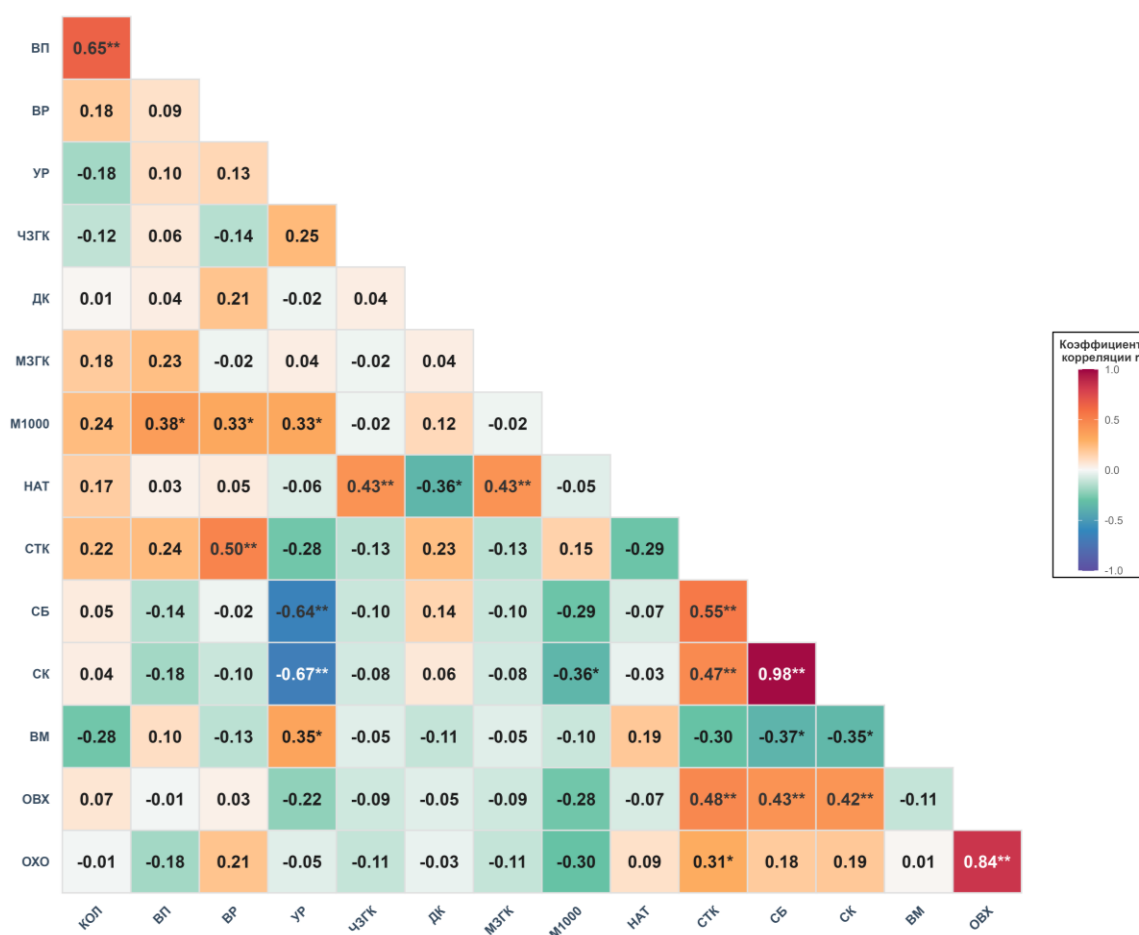


Рисунок 6.5 – Анализ корреляционных связей между хозяйственно ценными признаками, среднее за 2022–2024 гг.

В целом корреляционный анализ показал, что у изученных сортов и линий яровой мягкой пшеницы наиболее устойчивые взаимосвязи формируются между продолжительностью развития, элементами продуктивности и показателями качества зерна.

6.6 Комплексная индексная оценка сортов и линий яровой мягкой пшеницы по хозяйственно ценным признакам

Для обобщённой оценки селекционной ценности изученных сортов и линий яровой мягкой пшеницы была проведена комплексная индексная оценка по совокупности хозяйственно ценных признаков. Использование индексного метода позволяет сопоставлять генотипы по комплексу разнородных показателей и выделять образцы, сочетающие наиболее благоприятное проявление

продуктивности, адаптивности, устойчивости к болезням и качества зерна (Смиряев и др., 2013; Михкельман, 2018).

Следует учитывать, что комплексная индексная оценка является вспомогательной для многокритериального отбора и зависит от набора включённых признаков. На итоговое значение индекса могут существенно влиять признаки с высокой межгодовой изменчивостью, в том числе устойчивость к грибным болезням, проявление которой во многом определяется инфекционным фоном и погодными условиями конкретного года. В связи с этим результаты индексной оценки рассматривали в сочетании с анализом отдельных блоков признаков: продуктивности, устойчивости к болезням, продолжительности вегетационного периода и качества зерна.

Комплексный индекс рассчитывали на основе частных индексов хозяйственно ценных признаков. Частные индексы позволяли сопоставить каждый образец со средним уровнем изученной коллекции по конкретному признаку. Более высокое значение частного индекса указывало на преимущество образца по данному показателю. Комплексный индекс, полученный на основе совокупности частных индексов, отражал итоговую многокритериальную оценку образца: чем выше его значение, тем более благоприятным являлось сочетание хозяйственно ценных признаков. Расшифровка использованных сокращений и частные индексы по отдельным признакам приведены в приложениях (К.1 и К.2).

По результатам комплексной индексной оценки среди сортов наиболее высокие значения комплексного индекса были выявлены у Тулайковской 108 (2,12), Ласки (1,70), Ирень (1,55), Фаворита (1,51) и Канюка (1,38). Эти сорта характеризовались более благоприятным сочетанием признаков продуктивности, адаптивности, устойчивости и качества зерна по сравнению с большинством изученных сортов.

Таблица 6.5 – Комплексная многокритериальная индексная оценка сортов и линий яровой мягкой пшеницы по хозяйственно ценным признакам

№/пп	Сорта	КИ	Линий	КИ
1	Злата (st)	0,47	Злата (st)	0,24
2	Саратовская 74	0,92	Линия №23	2,14
3	Агата	0,93	Линия №35	0,97

4	Тулайковская108	2,12	Линия №59	1,96
5	Симбирцит	0,58	Линия №65	0,43
6	Тюменская 29	0,36	Линия №66	0,11
7	Обская 2	0,35	Линия №67	1,64
8	Тобольская	0,10	Линия №70	0,20
9	Алтайская Жница	0,24	Линия №79	0,14
10	Маргарита	0,14	Линия №147	0,21
11	Учитель	0,03	Линия №150	0,03
12	Фаворит	1,51	Линия №151	0,60
13	Гранни	0,39	Линия №152	0,05
14	Тризо	0,52	Линия №153	0,37
15	Ирень	1,55	Линия №178	0,53
16	Бомбона	0,48	Линия №187	0,30
17	Л-57	1,04	Линия №215	0,65
18	Ласка	1,70	Линия №217	0,17
19	Арабелла	0,32	Линия №220	0,10
20	Гранова	0,87	Линия №221	0,37
21	Мандарина	0,38	Линия №223	0,43
22	Канюк	1,38	-	-
23	Золушка	0,05	-	-

*Примечание. КИ – комплексный индекс

Относительно высокие значения комплексного индекса также отмечены у Л-57 (1,04), Агаты (0,93), Саратовской 74 (0,92) и Грановы (0,87), что позволяет рассматривать их как дополнительный исходный материал для селекционной работы. В то же время низкие значения комплексного индекса были получены у сортов Учитель (0,03), Золушка (0,05), Тобольская (0,10) и Маргарита (0,14), что связано с менее благоприятным сочетанием изученных признаков (табл. 6.5; Приложение К.1). Среди линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ максимальные значения комплексного индекса установлены у линии №23 (2,14), линии №59 (1,96) и линии №67 (1,64). Эти линии значительно превосходили большинство изученных образцов по итоговой многокритериальной оценке и могут рассматриваться как наиболее перспективный исходный материал для дальнейшего использования в селекции. Также определённый интерес представляют линии №35 (0,97), №215 (0,65), №151 (0,60) и №178 (0,53), у которых комплексный индекс был выше или близок к среднему уровню по группе линий. Низкими значениями комплексного индекса характеризовались линии №150 (0,03), №152 (0,05), №66 (0,11), №220 (0,10), №79 (0,14) и №217 (0,17), что указывает на

наличие отдельных ограничивающих признаков в их общей селекционной оценке (табл. 6.5; Приложение К.2).

Таким образом, комплексная индексная оценка позволила выделить сорта и линии, сочетающие наиболее благоприятный комплекс хозяйственно ценных признаков. Среди сортов наибольшую селекционную ценность представляют Тулайковская 108, Ласка, Ирень, Фаворит и Канюк. Среди линий СИММУТ наиболее перспективными являются линии №23, №59 и №67. Указанные генотипы могут быть рекомендованы в качестве источников ценных признаков и родительских форм при создании новых сортов яровой мягкой пшеницы, адаптированных к условиям Центрального района Нечернозёмной зоны России.

6.7 Практическое применение полученных результатов

Одним из практических результатов проведённой работы является использование изученных сортов и линий яровой мягкой пшеницы для получения нового селекционного материала. На основе комплексной полевой, лабораторной и молекулярно-генетической оценки были подобраны родительские формы для гибридизации. При подборе родительских пар учитывали аллельное состояние генов короткостебельности *Rht-B1* и *Rht-D1* – носителей аллелей *Rht-B1b* и *Rht-D1b*, наличие пшенично-ржаных транслокаций 1AL.1RS и 1BL.1RS, аллельное состояние генов реакции на яровизацию *Vrn-A1* (*Vrn-A1b*), аллель фотопериодической нечувствительности *Ppd-D1a*, а также состав высокомолекулярных субъединиц глютеина, кодируемых локусами *Glu-1*: (7+8, 14+15, 17+18 и 5+10). В результате был выделен ряд сортов и линий для гибридизации. В качестве материнской формы использовали стандартный районированный сорт Злата. В качестве доноров аллеля гена короткостебельности *Rht-B1b* использовали сорта Гранни и Гранова, а также линию №153; донор *Rht-D1b* (= *Rht2*) Золушка. Доноры транслокации 1AL.1RS – сорт Канюк; доноры 1BL.1RS – линии №35, №67 и №217. Сорта Ирень, Тулайковская 108 и Фаворит привлекались в качестве родительских форм для скрещиваний. Получены

гибридные комбинации с участием изученных образцов яровой мягкой пшеницы (табл. 6.6).

Скрещивания проводили в контролируемых условиях климатической камеры. В каждой гибридной комбинации кастрировали по два колоса, после чего проводили опыление. Всего было получено более 50 гибридных комбинаций (Приложение Л.2). В рамках проведённой работы 12 гибридных комбинаций на стадии F₂ были переданы в Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, а 18 гибридов F₁ – в ФИЦ «Немчиновка» (Приложение Л.2).

Таблица 6.6 – Гибридные комбинации, полученные с участием изученных образцов яровой мягкой пшеницы

№ п/п	Гибридная комбинация
1	Злата (♀) × Канюк (♂)
2	Злата (♀) × Гранни (♂)
3	Злата (♀) × Тулайковская 108 (♂)
4	Злата (♀) × Золушка (♂)
5	Канюк (♀) × Тулайковская 108 (♂)
6	Канюк (♀) × Линия 35 (♂)
7	F1 (Линия №67 (♀) × Ирень (♂)) × F1 (Канюк (♀) × Тулайковская 108 (♂))
8	Гранни (♀) × F1 (Линия №35 × Канюк) (♂)
9	Агата (♀) × F1 (Канюк × Линия №35) (♂)
10	F1 (Канюк (♀) × Линия №35 (♂) × Линия №67)

Таким образом, результаты проведённой работы позволили сформировать новый исходный селекционный материал, перспективный для дальнейшей селекции яровой мягкой пшеницы.

Заключение

В условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России проведена комплексная селекционно-генетическая оценка 43 образцов яровой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения 23 сортов российской и европейской селекции и 20 линий CIMMYT. По результатам трёхлетних полевых испытаний выделены источники высокой продуктивности (Маргарита, Обская 2, Мандарина, Тобольская, Арабелла), скороспелости (Ирень, Злата, Золушка, линии №220 и №221), устойчивости к грибным болезням и высокого качества зерна. Молекулярно-генетический анализ показал преобладание аллелей дикого типа *Rht-B1a* (93 %) и *Rht-D1a* (98 %), мономорфность локуса *Ppd-*

Al, преобладание доминантных яровых аллелей *Vrn-A1* и *Vrn-B1* при рецессивном *vrn-D1*; идентифицированы носители пшенично ржаной транслокаций 1AL.1RS и 1BL.1RS и ценные аллельные комбинации локусов *Glu-1*. Аллельное состояние *Vrn-A1* определяло продолжительность периода «всходы–колошение», пшенично ржаная транслокация 1BL.1RS устойчивость к бурой и стеблевой ржавчине. На основе выделенных доноров создан новый селекционный материал более 50 гибридных комбинаций, часть которых передана в Омский ГАУ и ФИЦ «Немчиновка».

Выводы

1. По показателю зерновой продуктивности выделены сорта Маргарита, Обская 2, Тобольская, Мандарина, Арабелла, а также линии №23, №79, №178 и №223. Выявлено, что основными коррелятами высокой урожайности являются озернённость колоса и масса зерна с колоса. Наибольшей озернёностью характеризовались сорта Агата, Бомбона, Л-57, Ласка и Мандарина, а по массе зерна с колоса выделились сорта Обская 2, Маргарита, Гранни и Канюк, а также линия №178.

2. Установлено, что по продолжительности вегетационного периода сорта и линии яровой мягкой пшеницы распределялись на пять групп спелости – от раннеспелых до очень позднеспелых. К раннеспелой группе, представляющей наибольший интерес в условия ЦРНЗ, относился сорт Ирень, к среднеранней – Злата и Золушка, а также линии №220 и №221.

3. В изученной коллекции преобладают аллели дикого типа *Rht-B1a* (93 %) и *Rht-D1a* (98 %). Выявлены доноры генов короткостебельности: *Rht-B1b* (Гранни, Гранова и линия №153); *Rht-D1b* (только у сорта Золушка). По гену *Rht8* идентифицированы 5 аллельных вариантов; аллель *Rht8c*, в отличие от *Rht-B1b* и *Rht-D1b*, не обуславливающий гиббереллиновой нечувствительности, обнаружен у 7% образцов (линии №65, №147 и №178).

4. Установлено, что по локусам *Vrn-A1* и *Vrn-B1* в изученной коллекции преобладают доминантные яровые аллели, тогда как по локусу *Vrn-D1* чаще встречается рецессивный озимый аллель. Полученные данные подтверждают, что

аллельное состояние генов *Vrn-1* влияет на продолжительность межфазных периодов и общий вегетационный период. Носители аллелей *Vrn-A1b* (доминантный аллель) характеризуются более ранним развитием, тогда как наличие *vrn-A1a* (рецессивный аллель) ассоциировано с удлинением вегетационного периода.

5. Все образцы изученной коллекции по локусу фотопериодической чувствительности *Ppd-A1* несут чувствительный аллель *Ppd-A1b* (у всех 43 изученных образцов). По локусу *Ppd-D1* доминирует чувствительный аллель *Ppd-D1b* (86,0 %), аллель нечувствительности *Ppd-D1a* обнаружен лишь у 7 % (линии №35, №65 и №187).

6. Идентифицированы носители пшенично-ржаных транслокаций 1BL.1RS (линии №35, №65, №67, №187, №217) и 1AL.1RS (сорт Канюк). Установлено, что пшенично-ржаные транслокации 1RS повышают устойчивость к грибным болезням и не снижают хлебопекарные качества зерна.

7. По локусам *Glu-1* выявлены ценные аллели *Glu-A1b* (2*), *Glu-B1b* (7+8) и *Glu-D1d* (5+10), ассоциированные с высокими хлебопекарными качествами. Максимальную оценку по шкале Пейна (10 баллов) получили сорта Бомбона, Л-57, Канюк, Злата, Агата и линии №23, №35, №59, №66, №67 и №151.

8. По результатам комплексной индексной оценки среди сортов наиболее высокими значениями характеризовались Тулайковская 108, Ласка, Ирень, Фаворит и Канюк. Среди линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ наиболее перспективными по комплексному индексу были линии №23, №59 и №67. Указанные генотипы могут рассматриваться как ценный исходный материал для дальнейшего использования в селекции яровой мягкой пшеницы.

9. На основе комплексной фенотипической и молекулярно-генетической оценки подобраны родительские пары и создан новый селекционный материал – более 50 гибридных комбинаций яровой мягкой пшеницы с участием доноров аллелей *Rht-B1b*, *Rht-D1b*, транслокаций 1AL.1RS и 1BL.1RS, аллеля *Ppd-D1a* и благоприятных комбинаций локусов *Glu-1*. 12 шт. комбинаций доведены до поколения F₂ и переданы в ФГБОУ ВО «Омский ГАУ имени П. А. Столыпина», 18

шт. гибридов F₁ – в ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка», что подтверждено актами внедрения.

Практические рекомендации для селекции

1. По результатам общей индексной оценки, проведённой по 19 хозяйственно ценным признакам, выделены сорта и линии, сочетающие высокую урожайность с наибольшим числом хозяйственно ценных признаков. Среди сортов выделились Тулайковская 108, Ласка, Ирень, Фаворит, Канюк, Саратовская 74, Агата, Л-57, а также линии №23, №35, №59, №67, №151, №153, №178 и №223.

2. Комплексной устойчивостью характеризуются Фаворит, Ласка, Гранова, №23, №59, №65, №215. К мучнистой росе устойчивы Саратовская 74, Агата, Симбирцит, Тюменская 29, Маргарита, Бомбона, Арабелла, Мандарина, №65, №70, №178, №215. К бурой ржавчине устойчивы Тулайковская 108, Канюк, Золушка, №23, №35, №65, №67, №215, №221. К стеблевой ржавчине Тулайковская 108, Фаворит, Гранова, Канюк, №23, №35, №59, №65, №67, №187 и №221 устойчивы к стеблевой ржавчине. Все перечисленные сорта и линии можно использовать для создания устойчивых к грибным болезням сортов для создания устойчивых сортов к грибным болезням.

3. Для создания сортов с высоким содержанием белка и клейковины рекомендуется использовать сорта Золушка, Ирень, Л-57, а также линии №59, №67, №151, №153 и №221. Наиболее стабильными и ценными по хлебопекарным качествам среди изученных сортов являются Ирень, Алтайская Жница, Тризо, Тулайковская 108 и Золушка, а среди линий – линии №23, №35, №59, №150, №151, №152, №153 и №220.

4. Выявлены доноры ценных аллелей генов: *Rht-B1b* – рекомендуется использовать сорта Гранни, Гранова и линию №153; *Rht-D1b* – Золушка, *Rht8c* – линии №65, №147 и №178; 1BL.1RS – линии №35, №67, №187 и №217, 1AL.1RS – Канюк; (*Ppd-D1a*) рекомендуется использовать линии №35, №65 и №187; *Glu-A1b* (2*), *Glu-B1b* (7+8), *Glu-B1f* (13+16), *Glu-B1i* (17+18), *Glu-D1d* (5+10) – Злата, Бомбона, Л-57, Канюк, линии №23, №35, №59, №66, №67 и №151.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алфимов, В. А. Устойчивость сортов озимой пшеницы в связи с изменениями расового состава в популяции бурой ржавчины Краснодарского края / В. А. Алфимов, Л. А. Беспалова, О. Ю. Пузырная // Пшеница и тритикале. - Краснодар : Советская Кубань, 2001. - С. 306-307.
2. Антошина, О. А. Исходный материал для селекции на продуктивность яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального региона Нечернозёмной зоны Российской Федерации: специальность 06.01.05 «Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений»: диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / О. А. Антошина. - Рязань, 2000. - 174 с.
3. Афанасенко, О. С. Новые и потенциально опасные болезни зерновых культур в России / О. С. Афанасенко, Л. А. Михайлова, Н. В. Мироненко [и др.] // Вестник защиты растений. - 2011. - № 4. - С. 3-18.
4. Багавиева, Э. З. Особенности сортов яровой мягкой пшеницы по элементам структуры урожая / Э. З. Багавиева, Н. З. Василова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. - 2009. - Т. 11. № 1. - С. 101-105.
5. Баранова, О. А. Потеря эффективности генов устойчивости к стеблевой ржавчине *Sr25* и *Sr6Agi* на территории Нижнего Поволжья / О. А. Баранова, С. Н. Сибикеев, А. Е. Дружин, И. Д. Созина // Вестник защиты растений. - 2021. - Т. 104, № 2. - С. 105-112. - DOI: 10.31993/2308-6459-2021-104-2-14994.
6. Белоусова, Е. М. Классификация сортов пшеницы по хлебопекарной силе / Е. М. Белоусова // Селекция и семеноводство. - 1990. - № 4. - С. 16-19.
7. Беркутова, Н. С. Методы оценки формирования качества зерна / Н. С. Беркутова. - Москва : Росагропромиздат, 1991. - 206 с.
8. Бутковская, Л. К. Влияние сроков посева на вегетационный период сортов яровой пшеницы различных групп спелости / Л. К. Бутковская, О. К. Крылова, В. Е. Мудрова // Зерновое хозяйство России. - 2023. - Т. 15, № 5. - С. 19-23.

9. Вавилов, Н. И. Ботанико-географические основы селекции / Н. И. Вавилов // Теоретические основы селекции растений. - Москва ; Ленинград : Сельхозгиз, 1935. - Т. 1. - С. 17-94.
10. Вавилов, Н. И. Избранные труды / Н. И. Вавилов. - Москва ; Ленинград : Наука, 1964. - 519 с.
11. Вавилов, Н. И. Иммуитет растений к инфекционным заболеваниям / Н. И. Вавилов. - Москва : Наука, 1986. - 519 с.
12. Вавилов, Н. И. Научные основы селекции пшеницы / Н. И. Вавилов. - Москва ; Ленинград : Сельхозиздат, 1935. - 214 с.
13. Волкова, Л. В. Методические подходы к оценке перспективности сортов и гибридных популяций яровой мягкой пшеницы по продуктивности и качеству зерна : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Л. В. Волкова. - Саратов, 2009. – 22 с.
14. Ворончихин, В. В. Использование метода индексов при комплексной оценке генетической коллекции озимой тритикале / В. В. Ворончихин, В. В. Пыльнев, В. С. Рубец, И. Н. Ворончихина // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - 2019. - № 7. - С. 92-100.
15. Ворончихина, И. Н. Комплексная оценка коллекции мягкой яровой пшеницы в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России : специальность 06.01.05 «Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений» : диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / И. Н. Ворончихина. - Москва, 2022. - 298 с.
16. Воротынцева, М. В. Степень влияния глютенинов на качество зерна как одного из сложных полигенных признаков рода *Triticum* : обзор / М. В. Воротынцева // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. - 2021. - Т. 182, № 1. - С. 168-185. - DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-168-185.
17. Гончаров, Н. П. К 125-летию со дня рождения Виктора Евграфовича Писарева / Н. П. Гончаров, П. Л. Гончаров // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. - 2007. - № 11. - С. 111-120.

18. Гончаров, Н. П. К 250-летию селекции растений в России / Н. П. Гончаров // Информационный вестник ВОГиС. - 2005. - Т. 9, № 3. - С. 279-289.
19. ГОСТ 10840-64. Методы определения натуры.
20. ГОСТ 10846-91. Методы определения белка
21. ГОСТ 12042-80. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян.
22. ГОСТ 34702-2020. Пшеница хлебопекарная. Технические условия.
23. ГОСТ 9353-2016. Методы определения стекловидности зерна
24. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорта растений: сайт. - URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/> (дата обращения: 10.05.2026).
25. Давоян, Р. О. Синтетические формы как основа для сохранения и использования генофонда диких сородичей пшеницы / Р. О. Давоян, И. В. Бебякина, О. Р. Давоян [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. - 2012. - Т. 16, № 1. - С. 44-51.
26. Давыдова, Н. В. Особенности подбора исходного материала для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья / Н. В. Давыдова, А. О. Казаченко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2013. - № 5. - С. 5-9.
27. Давыдова, Н. В. Селекция яровой пшеницы на урожайность и качество зерна в условиях Центра Нечернозёмной зоны Российской Федерации : специальность 06.01.05 «Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Н. В. Давыдова. - Немчиновка, 2011. - 54 с.
28. Давыдова, Н. В. Создание сортов яровой мягкой пшеницы с использованием озимых форм в ФИЦ «Немчиновка» / Н. В. Давыдова, А. О. Казаченко, А. В. Широколава [и др.] // Аграрная Россия. - 2024. - № 5. - С. 3-7. - DOI: 10.30906/1999-5636-2024-5-3-7.

29. Давыдова, Н. В. Экологическая оценка стабильности и пластичности сортов яровой мягкой пшеницы различных периодов сортосмены / Н. В. Давыдова, А. О. Казаченко, А. В. Широколава [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 2020. - № 3. - С. 142-149. - DOI: 10.26897/0021-342X-2020-3-142-149.
30. Дивашук, М. Г. Идентичность генов короткостебельности *Rht-11* и *Rht-B1e* / М. Г. Дивашук, А. В. Васильев, Л. А. Беспалова, Г. И. Карлов // Генетика. - 2012. - Т. 48, № 7. - С. 897-900. - DOI: 10.1134/S1022795412050055.
31. Дорофеев, В. Ф. Методические указания по изучению мировой коллекции пшеницы / В. Ф. Дорофеев, М. И. Руденко, И. П. Шитова, В. А. Корнейчук. - Ленинград : ВИР, 1973. - 33 с.
32. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с
33. Драгавцев, В. А. К проблеме генетического анализа полигенных количественных признаков растений / В. А. Драгавцев. - Санкт-Петербург : ВИР, 2003. - 18 с.
34. Драгович, А. Ю. Гены яровизации (*VRN*) и фотопериода (*PPD*) у староместных яровых сортов гексаплоидной пшеницы / А. Ю. Драгович, А. В. Фисенко, А. А. Янковская // Генетика. - 2021. - Т. 57, № 3. - С. 332-344. - DOI: 10.31857/S0016675821030061.
35. Дьячук, Т. И. Перспективные линии в селекции тритикале для условий Поволжья / Т. И. Дьячук, И. А. Кибкало, А. В. Поминов [и др.] // Зерновое хозяйство России. - 2018. - № 5. - С. 39-43. - DOI: 10.31367/2079-8725-2018-59-5-39-43.
36. Елина, О. Ю. «Наш учитель» Дионисий Леопольдович Рудзинский: к истокам дисциплинарного строительства селекции растений в России / О. Ю. Елина // Информационный вестник ВОГиС. - 2007. - Т. 11, № 3/4. - С. 575-590.
37. Журавлева, Е. В. Селекция и семеноводство - комплексный подход, современное состояние и перспективы / Е. В. Журавлева // Достижения науки и техники АПК. - 2015. - Т. 29, № 12. - С. 5-7.

38. Заверткин, И. А. Аспект засоренности дерново-подзолистой почвы камнями в условиях длительного окультуривания / И. А. Заверткин, О. А. Савоськина, А. В. Шитикова, И. М. Жогин // Владимирский земледелец. - 2023. - №4 (106). - С. 12-17. - DOI: 10.24412/2225-2584-2023-4106-12-17.
39. Зимняков, В. М. Производство пшеницы в России / В. М. Зимняков, А. А. Курочкин, С. В. Богомазов, Е. Н. Варламова // Нива Поволжья. - 2020. - № 1 (54). - С. 15-21.
40. Зуев, Е. В. Результаты изучения коллекции яровой мягкой пшеницы на скороспелость в селекцентрах России / Е. В. Зуев, А. Н. Брыкова, В. И. Никонов [и др.] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. - 2009. - Т. 166. - С. 101-106.
41. Игнатьева, Г. В. Селекция яровой мягкой пшеницы в условиях Владимирского Ополья / Г. В. Игнатьева // Владимирский земледелец. - 2015. - №2 (72). - С. 38-40.
42. Игнатьева, Г. В. Сорта яровой пшеницы для Центрального Нечерноземья Российской Федерации / Г. В. Игнатьева, Е. В. Викулина, З. Е. Сатарина, С. А. Булатова // Владимирский земледелец. - 2020. - №2 (92). С. 56–62- DOI: 10.24411/2225-2584-2020-1012.
43. Икусов, Р. А. Особенности формирования структуры урожая у современных сортов яровой пшеницы в условиях экологического испытания / Р. А. Икусов, А. В. Амелин, В. И. Мазалов // Современные научно-практические основы агротехнологий в сельскохозяйственном производстве: материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 23-25 апреля 2019 года. - Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. - С. 16-23.
44. Информационная система генетических ресурсов пшеницы и тритикале ГРИС: сайт. - URL: <http://www.wheatpedigree.net/> (дата обращения: 10.12.2025).
45. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 807: Источники устойчивости пшеницы и эгилопса к возбудителям грибных болезней и характеристика сортов по уровню накопления тяжелых металлов. - Санкт-Петербург : ВИР, 2012. - 32 с.

46. Ким, Ю. С. Желтая пятнистость листьев пшеницы: распространение, вредоносность, расовый состав : обзор / Ю. С. Ким, Г. В. Волкова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2020. - № 2 (50). - С. 105-116. - DOI: 10.18286/1816-4501-2020-2-105-116.
47. Коваленко, Е. Д. Стратегия селекции пшеницы на устойчивость к ржавчинным заболеваниям / Е. Д. Коваленко, А. И. Жемчуная, М. И. Киселева [и др.] // Защита и карантин растений. - 2012. - № 9. - С. 19-22.
48. Коновалов, Ю. Б. 100 лет Российской селекции / Ю. Б. Коновалов, В. В. Пыльнев // Селекция и семеноводство. - 2003. - № 1. - С. 33-36.
49. Коновалов, Ю. Б. Точность и достоверность оценок в селекционном питомнике яровой пшеницы / Ю. Б. Коновалов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 1993. - Вып. 4. - С. 29-37.
50. Коршунова, А. Д. Анализ распределения генов короткостебельности пшеницы и ржи среди сортообразцов яровой гексаплоидной тритикале (*Triticosecale Wittm.*) / А. Д. Коршунова, М. Г. Дивашук, А. А. Соловьев, Г. И. Карлов // Генетика. - 2015. - Т. 51, № 3. - С. 334-340. - DOI: 10.7868/S0016675815030078.
51. Костерина, Н. А. Анализ современного состояния проблемы фузариоза колоса и зерна пшеницы в Российской Федерации / Н. А. Костерина // Аграрный вестник Урала. - 2023. - № 5 (234). - С. 49-60. - DOI: 10.32417/1997-4868-2023-234-05-49-60.
52. Кривченко, В. И. Мучнистая роса злаков / В. И. Кривченко, Т. В. Лебедева, Х. О. Пеуша // Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам : методическое пособие. - Москва : Россельхозакадемия, 2008. - С. 86-105.
53. Крупин, П. Ю. Использование генетического потенциала многолетних дикорастущих злаков в селекционном улучшении пшеницы / П. Ю. Крупин, М. Г. Дивашук, Г. И. Карлов // Сельскохозяйственная биология. - 2019. - Т. 54, № 3. - С. 409-425. - DOI: 10.15389/agrobiology.2019.3.409rus.

54. Крупнова, О. В. О сопоставлении качества зерна яровой и озимой пшеницы в связи с делением на рыночные классы : обзор / О. В. Крупнова // Сельскохозяйственная биология. - 2013. - № 1. - С. 15-25.
55. Кудряшов, И. Г. Актуальность сортовых структур при производстве озимой пшеницы в современных условиях / И. Г. Кудряшов, Л. А. Беспалова, Д. А. Пономарев // Зерновое хозяйство России. - 2016. - № 1. - С. 9-13.
56. Кумаков, В. А. Продукционный процесс в посевах пшеницы / В. А. Кумаков, Б. В. Березин, О. А. Евдокимова. - Саратов : НИИСХ Юго-Востока, 1994. - 204 с.
57. Куркова, И. В. Продолжительность вегетационного периода яровой пшеницы в зависимости от погодных условий в южной зоне Амурской области / И. В. Куркова // Дальневосточный аграрный вестник. - 2018. - № 2 (46). - С. 19-25.
58. Лаббан, А. А. Питательная ценность зерна синтетических пшениц (*T. aestivum*) из коллекции Национального центра генетических ресурсов США / А. А. Лаббан, В. А. Минеева, И. Ф. Лапочкина // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. - 2011. - № 4 (9). - С. 35-40.
59. Лапочкина И.Ф. Чужеродная генетическая изменчивость и её роль в селекции пшеницы // Идентифицированный генофонд растений и селекция. – СПб.: ВИР, 2005. –С. 684–740.
60. Лапочкина И.Ф., Волкова Г.А. Создание коллекций замещённых и дополненных хромосомами *Aegilops speltoides* Tausch. линий яровой мягкой пшеницы // Генетика. – 1994. – Т. 30, № 7. – С . 86–87.
61. Лапочкина И.Ф., Гайнуллин Н.Р., Коваленко Е.Д. и др. Генетический потенциал мягкой пшеницы коллекции «Арсенал» по генам устойчивости к бурой ржавчине // Генетические ресурсы культурных растений в XXI веке. – СПб.: ВИР, 2007. – С. 92–94.
62. Лапочкина, И. Ф. Комплексная устойчивость линий яровой и озимой мягкой пшеницы к биотическим и абиотическим стрессам / И. Ф. Лапочкина, Н. Р. Гайнуллин, О. А. Баранова [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. - 2021. - Т. 25, № 7. - С. 723-731. - DOI: 10.18699/VJ21.082.

63. Лапочкина, И. Ф. Оценка и характеристика образцов коллекции синтетической пшеницы ($2n = 42$) как новых источников устойчивости к бурой ржавчине и мучнистой росе в условиях Нечернозёмной зоны РФ / И. Ф. Лапочкина, А. А. Лаббан, И. Ю. Макарова [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 2011. - № 6. - С. 39-48.
64. Лапочкина, И. Ф. Создание нового селекционного материала озимой пшеницы с использованием сортов венгерской селекции для Центрального региона РФ / И. Ф. Лапочкина, И. Ю. Макарова, Н. А. Яшина [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 2024. - № 2. - С. 79-92. - DOI: 10.26897/0021-342X-2024-2-79-92.
65. Лапочкина, И. Ф. Цитогенетическое изучение коллекции синтетической пшеницы из Национальной коллекции злаков США (National Small Grain Collection of USDA-ARS) в условиях Нечернозёмной зоны России / И. Ф. Лапочкина, И. В. Иорданская, Г. Л. Ячевская, А. А. Лаббан // Сельскохозяйственная биология. - 2014. - № 3. - С. 77-82.
66. Лапченко, Г. Д. Применение метода отдаленной гибридизации в селекции озимой пшеницы / Г. Д. Лапченко // Селекция и семеноводство. - 1967. - № 2. - С. 33-38.
67. Леонтьев, С. И. Основные параметры моделей сортов яровой пшеницы интенсивного типа для степи и южной лесостепи Западной Сибири / С. И. Леонтьев. - Омск : ОмСХИ, 1980. – 63 с.
68. Лихенко, И. Е. Изучение аллельного состава генов *Vrn-1* и *Ppd-1* у раннеспелых и среднеранних сортов яровой мягкой пшеницы Сибири / И. Е. Лихенко, А. И. Стасюк, А. Б. Щербань [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. - 2014. - Т. 18, № 4-1. - С. 691-703.
69. Лихенко, И. Е. Использование в селекции яровой мягкой пшеницы мирового генофонда и местных сортов / И. Е. Лихенко // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. - 2008. - № 1. - С. 25-30.

70. Мамонтова, В. Н. Сложная ступенчатая гибридизация как метод селекции высокоценных сортов яровой пшеницы / В. Н. Мамонтова, Л. Г. Ильина // Селекция самоопыляющихся культур. - Москва : Колос., 1969. - С. 33-48.
71. Медведев, А. М. Поиск источников короткостебельности в целях создания устойчивых к полеганию сортов озимой тритикале для Центрального Нечерноземья / А. М. Медведев, Н. Г. Пома, В. В. Осипов [и др.] // Зерновое хозяйство России. - 2017. - № 3. - С. 43-46.
72. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур. - Москва : [Колос], 1988. – 194 с.
73. Митрофанова, О. П. Новые генетические ресурсы в селекции пшеницы на увеличение содержания белка в зерне / О. П. Митрофанова, А. Г. Хакимова // Вавиловский журнал генетики и селекции. - 2016. - Т. 20, № 4. - С. 545-554.
74. Михайлова, Л. А. Желтая пятнистость пшеницы. Методические указания по изучению популяций возбудителя желтой пятнистости *Pyrenophora tritici-repentis* и устойчивости сортов / Л. А. Михайлова, Н. В. Мироненко, Н. М. Коваленко. - Санкт-Петербург : ВИЗР, 2012. - 72 с.
75. Михкельман, В. А. Совершенствование методов селекции ярового ячменя в РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева / В. А. Михкельман, Р. К. Кадилов, А. В. Мельников // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 2018. - № 6. - С. 26-47.
76. Мощный, И. И. Идентификация замещения (1B)1R и транслокации 1BL.1RS у интрогрессивных линий озимой пшеницы цитологическим и молекулярно-генетическим методами / И. И. Мощный, С. В. Чеботарь, Л. В. Сударчук [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. - 2012. - Т. 16, № 1. - С. 217-223.
77. Наджодов, Б. Б. Влияние метеорологических условий на формирование хозяйственно-полезных признаков яровой пшеницы в условиях ЦРНЗ / Б. Б. Наджодов, В. С. Рубец, В. В. Пыльнев, И. Н. Ворончихина // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 2023. - № 6. - С. 47-64. - DOI: 10.26897/0021-342X-2023-6-47-64.

78. Наджодов, Б. Б. Оценка хлебопекарных качеств синтетических линий яровой мягкой пшеницы СИММУТ в условиях ЦРНЗ / Б. Б. Наджодов, В. С. Рубец, И. Н. Ворончихина, И. Н. Клименкова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. - 2025. - № 118. - С. 217-224. - DOI: 10.21515/1999-1703-118-217-224.
79. Наджодов, Б. Б. Устойчивость сортов яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. к бурой ржавчине в условиях Центрального Нечерноземья / Б. Б. Наджодов, В. С. Рубец, М. Г. Дивашук // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. - 2025. - Т. 20, № 3. - С. 354-367. - DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-354-3675.
80. Наджодов, Б. Б. Устойчивость яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) к мучнистой росе в условиях Центрального Нечерноземья / Б. Б. Наджодов, В. С. Рубец // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. - 2025. - Т. 186, № 2. - С. 218-227. - DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-218-227.
81. Наджодов, Б. Б. Характеристика хозяйственно ценных признаков синтетических гексаплоидных линий яровой мягкой пшеницы СИММУТ в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России / Б. Б. Наджодов, В. С. Рубец, С. С. Баженова, В. В. Пыльнев // Зерновое хозяйство России. - 2024. - Т. 16, № 6. - С. 34-41. - DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-34-41.
82. Наумов, В. Д. Сравнительная оценка почв и растительности на пробных площадях лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева / В. Д. Наумов, Б. С. Родионов, А. В. Гемонов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 2014. - № 2. - С. 5-18.
83. Неттевич, Э. Д. Внутрисортной полиморфизм яровой пшеницы сорта Московская 35 по качеству зерна / Э. Д. Неттевич, Н. С. Беркутова, Л. Г. Погорелова // Доклады ВАСХНИЛ. - 1985. - № 7. - С. 3-5.
84. Неттевич, Э. Д. Использование озимых форм в селекции яровой пшеницы / Э. Д. Неттевич, Н. С. Щеглова, Л. М. Эзрохин // Селекция и семеноводство. - 1972. - № 5. - С. 18-23.

85. Неттевич, Э. Д. О совершенствовании сортов яровой пшеницы, возделываемых в Центральном регионе России / Э. Д. Неттевич // Селекция и семеноводство. - 2000. - № 4. - С. 10-14.
86. Никитина, Е. А. Конкурентная аллель-специфичная ПЦР (KASP): особенности, интерпретация результатов / Е. А. Никитина, А. В. Архипов, Я. В. Минькова [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 2022. - № 6. - С. 79-93. - DOI: 10.26897/0021-342X-2022-6-79-93.
87. Новосельская-Драгович, А. Ю. Генетика и геномика пшеницы: запасные белки, экологическая пластичность и иммунитет / А. Ю. Новосельская-Драгович // Генетика. – 2015. – Т. 51, № 5. – С. 568. – DOI 10.7868/S0016675815050045.
88. Паспортная база данных генетических ресурсов растений ВИР: сайт. - URL: <http://91.151.189.38:8080/virdb/maindb> (дата обращения: 10.12.2025).
89. Писарев, В. Е. Перерождение пшеницы / В. Е. Писарев // Труды по прикладной ботанике и селекции. - 1923. - Т. 13, № 1. - С. 559-570.
90. Писарев, В. Е. Селекция зерновых культур. Избранные работы / В. Е. Писарев. - Москва : Колос, 1964. - 318 с.
91. Плешков, Б. П. Биохимия сельскохозяйственных растений / Б. П. Плешков. - Москва : Агропромиздат, 1987. - 494 с.
92. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале : методические указания / под ред. А. Ф. Мережко. - Санкт-Петербург : ВИР, 1999. – 87 с.
93. Потоцкая, И. В. Селекционно-генетическая оценка коллекции СИММУТ и создание исходного материала яровой мягкой пшеницы для селекции в условиях южной лесостепи Западной Сибири : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / И. В. Потоцкая. - Омск, 2003. - 16 с.
94. Потоцкая, И. В. Синтетическая гексаплоидная пшеница как исходный материал для селекции на засухоустойчивость в условиях Западной Сибири / И. В. Потоцкая, В. П. Шаманин, С. С. Шепелев, А. И. Моргунов // Вестник Омского государственного аграрного университета. - 2019. - № 1. - С. 38-46.

95. Потоцкая, И. В. Создание сортов и селекционного материала челночной селекции с использованием генетического материала синтетической пшеницы / И. В. Потоцкая, А. С. Чурсин, В. П. Шаманин // Вестник Омского государственного аграрного университета. - 2019. - № 4 (36). - С. 61-67.
96. Потоцкая, И. В. Фенотипическая и генотипическая оценка линий гексаплоидной синтетической пшеницы (AABBDD) по параметрам зерновки в условиях Западной Сибири / И. В. Потоцкая, В. П. Шаманин, С. С. Шепелев [и др.] // Сельскохозяйственная биология. - 2020. - Т. 55, № 1. - С. 15-26. - DOI: 10.15389/agrobiology.2020.1.15rus.
97. Потоцкая, И.В. Анализ полиморфизма генома D синтетической пшеницы, полученной на основе *Ae. tauschii* L. / И.В. Потоцкая, В.П. Шаманин, С.С. Шепелев, М. Бхатта, А.И. Моргунов // Генетика. – 2021. – Т. 57, № 2. – С. 196–204.
98. Почтовый, А. А. Клонирование гена *DREB1* и создание его ДНК-маркера, дифференцирующего *DREB1* мягкой пшеницы и её дикорастущих сородичей / А. А. Почтовый, П. Ю. Крупин, М. Г. Дивашук [и др.] // Сельскохозяйственная биология. - 2018. - Т. 53, № 3. - С. 499-510. - DOI: 10.15389/agrobiology.2018.3.499rus.
99. Практикум по селекции и семеноводству полевых культур : учебное пособие / под ред. В. В. Пыльнева. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 448 с.
100. Прянишников, А. И. Научные основы адаптивной селекции в Поволжье / А. И. Прянишников. - Москва : РАН, 2018. - 96 с.
101. Пшеница и ее улучшение / Л. П. Рейтц, Е. Р. Моррис, Э. Р. Сирс [и др.] ; пер. с англ. - Москва : Колос, 1970. - 520 с.
102. Пшеницы мира / В. Ф. Дорофеев, М. М. Якубцинер, М. И. Руденко [и др.]. - Ленинград : [Л.: Колос], 1976. - 487 с.
103. Пыльнев, В. В. Кафедре генетики, селекции и семеноводства - 100 лет / В. В. Пыльнев, А. Н. Берёзкин, Е. А. Вертикова, В. С. Рубец // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 2024. - № 1. - С. 5-16. - DOI: 10.26897/0021-342X-2024-1-5-16.

104. Пыльнев, В. В. Особенности спонтанного перекрёстного опыления пшеницы озимой в условиях средней полосы России / В. В. Пыльнев, В. С. Рубец, А. В. Широколава // Труды Кубанского государственного аграрного университета. - 2015. - № 54. - С. 253-257.
105. Ригин, Б. В. Высокая скорость развития и продуктивность яровой мягкой пшеницы / Б. В. Ригин, Е. В. Зуев, В. А. Кошкин [и др.] // Достижения науки и техники АПК. - 2015. - Т. 29, № 7. - С. 13-16.
106. Ригин, Б. В. Доноры ультраскороспелости в селекции яровой мягкой пшеницы / Б. В. Ригин, Е. Р. Шрейдер, И. И. Матвиенко [и др.] // Биотехнология и селекция растений. - 2022. - Т.5, № 3. - С. 5-14. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-3-о3.
107. Рутц, Р. И. Использование генетического потенциала озимых сортов в селекции яровой пшеницы / Р. И. Рутц // Селекция и семеноводство. - 1981. - №4. - С. 3-15.
108. Рутц, Р. И. Озимые формы в селекции сортов яровой пшеницы интенсивного типа / Р. И. Рутц // Селекция и семеноводство. - 1993. - №4. - С. 20-23.
109. Самофалова, Н. Е. Мечта и явь академика И. Г. Калининко в создании озимой твердой пшеницы / Н. Е. Самофалова // Зерновое хозяйство России. - 2016. - № 1. - С. 3-9.
110. Сандухадзе, Б. И. Методические основы селекции озимой пшеницы на урожайность и качество зерна в центре Нечерноземья России / Б. И. Сандухадзе, Г. В. Кочетыгов, В. В. Бугрова [и др.] // Сельскохозяйственная биология. - 2006. - № 3. - С. 3-12.
111. Сандухадзе, Б. И. Научная селекция озимой мягкой пшеницы в Нечерноземной зоне России: история, методы и результаты / Б. И. Сандухадзе, Р. З. Мамедов, М. С. Крахмалёва, В. В. Бугрова // Вавиловский журнал генетики и селекции. - 2021. - Т. 25, № 4. - С. 367-373. - DOI: 10.18699/VJ21.53-о.
112. Сандухадзе, Б. И. Селекция озимой пшеницы - важнейший фактор повышения урожайности и качества / Б. И. Сандухадзе // Достижения науки и техники АПК. - 2010. - № 11. - С. 4-6.

113. Сандухадзе, Б. И. Целенаправленная селекция озимой пшеницы интенсивного типа для условий Нечерноземья на основе метода прерывающихся беккроссов / Б. И. Сандухадзе, Г. В. Кочетыгов, В. В. Бугрова // Сельскохозяйственная биология. - 1996. - № 1. - С. 13-26.
114. Сандухадзе, Б. И. Эффективность использования сорта Заря в селекции на иммунитет к твёрдой головне / Б. И. Сандухадзе, Л. М. Цакашвили // Селекция зерновых культур на стабильность урожайности, иммунитет и качество зерна в Нечернозёмной зоне : сборник научных трудов НИИСХ ЦРНЗ. - Москва: 1986. - С. 125-129.
115. Селянинов, Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата / Г. Т. Селянинов // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. - 1928. - Вып. 20. - С. 169-178.
116. Селянинов, Г. Т. Принципы агроклиматического районирования СССР / Г. Т. Селянинов // Вопросы агроклиматического районирования СССР. - Москва: [б. и.], 1958. - С. 7-14.
117. Сибикеев, С. Н. Сравнительный анализ *6Agi* и *6Agi2* хромосом *Agropyron intermedium* (Host) Beauv. у сортов и линий мягкой пшеницы с пшенично-пырейными замещениями / С. Н. Сибикеев, Е. Д. Бадаева, Е. И. Гультяева [и др.] // Генетика. - 2017. - Т. 53, № 3. - С. 298-310. - DOI: 10.7868/S0016675817030110.
118. Сидоров, А. В. Селекция яровой мягкой пшеницы на продуктивность в условиях недостатка влаги / А. В. Сидоров, Д. Ф. Федосенко // Достижения науки и техники АПК. - 2016. - Т. 30, № 6. - С. 18-21.
119. Смиряев, А. В. Моделирование в биологии и сельском хозяйстве : учебное пособие / А. В. Смиряев, А. В. Исачкин, Л. К. Панкина. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: Издательство РГАУ-МСХА, 2013. - 154 с.
120. Стасюк, А. И. Фенотипическая изменчивость селекционных линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по элементам структуры урожая в экологических условиях Западной Сибири и Татарстана / А. И. Стасюк, И. Н. Леонова, М. Л. Пономарева [и др.] // Сельскохозяйственная биология. - 2021. - Т. 56, № 1. - С. 78-91.

121. Сухоруков, А. Ф. Селекция озимой пшеницы на комплексную устойчивость к грибным болезням в Среднем Поволжье / А. Ф. Сухоруков, А. А. Сухоруков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2014. - Т. 16, № 5-3. - С. 1157-1161.
122. Тоболова, Г. В. Морфобиологические особенности вида *Triticum carthlicum Nevski.* (*T. persicum Vav.*) как исходный материал для селекции яровой мягкой пшеницы в лесостепи Зауралья: диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Г.В. Тоболова. - Красноярск, 2024. - 285 с.
123. Утебаев, М. У. Качество зерна сортов яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Западно-Сибирской селекции в условиях Северного Казахстана / М. У. Утебаев, Т. В. Шелаева, Н. А. Боме [и др.] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. - 2022. - Т. 183, № 3. - С. 27-38. - DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-27-38.
124. Файт, В. И. Эффекты аллелей гена *Rht8* по агрономическим признакам у озимой мягкой пшеницы в условиях степи юга Украины / В. И. Файт, С. В. Чеботарь, Н. В. Мокану [и др.] // Цитология и генетика. - 2007. - Т. 41, № 2. - С. 30-36. - DOI: 10.3103/S0095452707020053.
125. Фетюхин, И. В. Интегрированная защита озимой пшеницы от сорняков / И. В. Фетюхин, А. А. Баранов // Зерновое хозяйство России. - 2019. - № 1. - С. 6-9. - DOI: 10.31367/2079-8725-2019-61-1-6-9.
126. Фисенко, А. В. Динамика распространения ржаных транслокаций в генотипах российских сортов мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. / А. В. Фисенко, О. А. Ляпунова, Е. В. Зуев, А. Ю. Драгович // Генетика. - 2023. - Т. 59, № 6. - С. 648-658. - DOI: 10.31857/S0016675823050053.
127. Фляксбергер, К. А. Замечания о работе с озимой пшеницей / К. А. Фляксбергер // Гибель озимых хлебов и мероприятия по ее предупреждению. - Ленинград: Издательство ВИПБиНК, 1929. - С. 315-318. - (Приложение 34 к «Трудам по прикладной ботанике, генетике и селекции»).
128. Хакимова, А. Г. Генетическое разнообразие и селекционная ценность синтетической гексаплоидной пшеницы, привлечённой в коллекцию ВИР / А. Г. Хакимова, Н. К. Губарева, В. А. Кошкин, О. П. Митрофанова // Вавиловский

журнал генетики и селекции. - 2019. - Т. 23, № 6. - С. 738-745. - DOI: 10.18699/VJ19.548.

129. Хлесткина, Е. К. Перспективные возможности использования молекулярно-генетических подходов для управления технологическими свойствами зерна пшеницы в контексте цепочки «зерно-мука-хлеб» / Е. К. Хлесткина, Т. А. Пшеничникова, Н. И. Усенко [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. - 2016. - Т. 20, № 4. - С. 511-527.

130. Частная селекция полевых культур / В. В. Пыльнев [и др.]. - Москва : Колос, 2005. - 552 с.

131. Чебатарева, М. В. Генетическое разнообразие мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по аллельному составу HMW-GS : обзор / М. В. Чебатарева // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. - 2023. - Т. 184, № 3. - С. 221-232. - DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-221-232.

132. Чеботарь, Г. А. Прямые эффекты генов короткостебельности на генетическом фоне известных сортов пшеницы юга Украины / Г. А. Чеботарь, И. И. Мощный, С. В. Чеботарь [и др.] // Цитология и генетика. - 2012. - Т. 46, №6. - С. 44-52. - DOI: 10.3103/S0095452712060023.

133. Чеботарь, С. В. Распространение локуса WMS261, маркирующего ген короткостебельности *Rht8*, у сортов мягкой пшеницы Южной Украины / С. В. Чеботарь, В. Н. Корзун, Ю. М. Сиволап // Генетика. - 2001. - Т. 37, № 8. - С. 1075-1080. - DOI: 10.1023/A:10167735156281.

134. Черноок, А. Г. Молекулярно-генетический и фенотипический анализ генов-регуляторов роста и развития у короткостебельных форм пшеницы и тритикале : диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / А. Г. Черноок. - Москва, 2023. - 214 с.

135. Черноок, А. Г. Фенотипическое проявление аллеля низкостебельности *Rht-B1p* (= *Rht17*) у яровой твердой пшеницы в двух климатических условиях / А. Г. Черноок, П. Ю. Крупин, Л. А. Беспалова [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. - 2019. - Т. 23, № 7. - С. 916-925. - DOI: 10.18699/VJ19.567.

136. Чирков, Ю. И. Агрометеорология : учебник / Ю. И. Чирков. - Ленинград : Гидрометеиздат, 1986. - 294 с.
137. Чуманова, Е. В. Хромосомный состав пшенично-ржаных линий и влияние хромосом ржи на устойчивость к болезням и на хозяйственно ценные признаки / Е. В. Чуманова, Т. Т. Ефремова, Н. В. Трубачеева [и др.] // Генетика. - 2014. - Т. 50, № 11. - С. 1319-1328.
138. Шаманин, В. П. Синтетическая пшеница : монография / В. П. Шаманин, И. В. Потоцкая, С. С. Шепелев [и др.]. - Омск: [ОМГАУ], 2018. - 172 с.
139. Шепелев, С. С. Маркер-ориентированная селекция яровой мягкой пшеницы на повышение урожайности, качества зерна, устойчивости к болезням и засухе в условиях Западной Сибири / С. С. Шепелев, И. В. Потоцкая, А. С. Чурсин [и др.] // Зерновое хозяйство России. - 2023. - № 2. - С. 18-25. - DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-18-25.
140. Abdelrahman, M. Wild grass-derived alleles represent a genetic architecture for the resilience of modern common wheat to stresses / M. Abdelrahman, Y. S. A. Gorafi, S. Sulieman [et al.] // The Plant Journal. - 2024. - V. 119. - P. 1685-1702. - DOI: 10.1111/tpj.16887.
141. Aberkane, H. Transferring diversity of goat grass to farmers' fields through the development of synthetic hexaploid wheat / H. Aberkane, T. Payne, M. Kishi [et al.] // Food Security. - 2020. - V. 12. - P. 1017-1033. - DOI: 10.1007/s12571-020-01051-w.
142. Al-Khayri, J. M. Association of high and low molecular weight glutenin subunits with gluten strength in tetraploid durum wheat (*Triticum turgidum* spp. *durum* L.) / J. M. Al-Khayri, R. M. Alshegaihi, E. I. Mahgoub [et al.] // Plants. - 2023. - V. 12, № 6. - Article 1416. - DOI: 10.3390/plants12061416.
143. Anjum, F. M. Wheat gluten: high molecular weight glutenin subunits - structure, genetics, and relation to dough elasticity / F. M. Anjum, M. R. Khan, A. Din [et al.] // Journal of Food Science. - 2007. - V. 72, № 3. - P. R56-R63. - DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00292.x.

144. Asplund, L. Allelic variation at the *Rht8* locus in a 19th century wheat collection / L. Asplund, M. W. Leino, J. Hagenblad // The Scientific World Journal. - 2012. - Article ID 385610. - DOI: 10.1100/2012/385610.
145. Bauer, E. Towards a whole-genome sequence for rye (*Secale cereale* L.) / E. Bauer, T. Schmutzer, I. Barilar [et al.] // The Plant Journal. - 2017. - V. 89, № 5. - P. 853-869. - DOI: 10.1111/tpj.13436.
146. Bazhenov, M. S. Alleles of the *GRF3-2A* gene in wheat and their agronomic value / M. S. Bazhenov, A. G. Chernook, L. A. Bessalova [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. - 2021. - V. 22, № 22. - Article 12376. - DOI: 10.3390/ijms222212376.
147. Bazhenov, M. S. The association of grain yield and agronomical traits with genes of plant height, photoperiod sensitivity and plastid glutamine synthetase in winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) collection / M. S. Bazhenov, L. A. Bessalova, A. A. Kocheshkova [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. - 2022. - V. 23, № 19. - Article 11402. - DOI: 10.3390/ijms231911402.
148. Beales, J. A pseudo-response regulator is misexpressed in the photoperiod insensitive *Ppd-D1a* mutant of wheat (*Triticum aestivum* L.) / J. Beales, A. Turner, S. Griffiths, J. W. Snape, D. A. Laurie // Theoretical and Applied Genetics. - 2007. - V. 115, № 5. - P. 721-733. - DOI: 10.1007/s00122-007-0603-4.
149. Belan, I. A. Main directions of the spring bread wheat breeding in Western Siberia / I. A. Belan, L. P. Rosseeva, N. P. Blokhina [et al.] // Current Challenges in Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology. - 2019. - P. 187-189. - DOI: 10.18699/ICG-PlantGen2019-60.
150. Branlard G., Dardevet M., Saccomano R., Lagoutte F., Gourdon J. Wheat in a Global Environment // Wheat in a Global Environment: Proceedings of the 6th International Wheat Conference, 5–9 June 2000, Budapest, Hungary. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. – Vol. 9 (Developments in Plant Breeding). – P. 157–169.

151. Casebow, R. Reduced height (*Rht*) alleles affect wheat grain quality / R. Casebow, C. Hadley, R. Uppal [et al.] // PLoS ONE. - 2016. - V. 11. - Article e0156056. - DOI: 10.1371/journal.pone.0156056.
152. Chai, L. A natural variation in Ribonuclease H-like gene underlies *Rht8* to confer “Green Revolution” trait in wheat / L. Chai, M. Xin, C. Dong [et al.] // Molecular Plant. - 2022. - V. 15, № 3. - P. 377-380. - DOI: 10.1016/j.molp.2022.01.013.
153. Chung, O. K. Quality characteristics of hard winter and spring wheats grown under an over-wintering condition / O. K. Chung, J. B. Ohm, G. L. Lookhart, R. Bruns // Journal of Cereal Science. - 2003. - V. 37. - P. 91-99. - DOI: 10.1006/jcrs.2002.048.
154. Collard, B. C. Marker-assisted selection: an approach for precision plant breeding in the twenty-first century / B. C. Collard, D. J. Mackill // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. - 2008. - V. 363, № 1491. - P. 557-572. - DOI: 10.1098/rstb.2007.2170.
155. Crespo-Herrera, L. A. A systematic review of rye (*Secale cereale* L.) as a source of resistance to pathogens and pests in wheat (*Triticum aestivum* L.) / L. A. Crespo-Herrera, L. Garkava-Gustavsson, I. Ahman // Hereditas. - 2017. - V. 154. - Article 14. - DOI: 10.1186/s41065-017-0033-5.
156. Dadrasi, A. Addressing food insecurity: an exploration of wheat production expansion / A. Dadrasi, M. Chaichi, A. Nehbandani [et al.] // PLoS ONE. - 2023. - V. 18, № 12. - Article e0290684. - DOI: 10.1371/journal.pone.0290684.
157. Davydova, N. V. The usage of spring × winter crosses in breeding spring wheat / N. V. Davydova, E. D. Nettevich, M. I. Maximenko // 5th International Conference, Ankara, 10-14 June 1996. - Ankara, 1996. - P. 61-62.
158. Debernardi, J. M. *APETALA 2*-like genes *AP2L2* and *Q* specify lemma identity and axillary floral meristem development in wheat / J. M. Debernardi, J. R. Greenwood, E. J. Finnegan [et al.] // The Plant Journal. - 2020. - V. 101. - P. 171-187. - DOI: 10.1111/tpj.14528.
159. Delorean, E. High molecular weight glutenin gene diversity in *Aegilops tauschii* demonstrates unique origin of superior wheat quality / E. Delorean, L. Gao, J. F. C. Lopez

- [et al.] // Communications Biology. - 2021. - V. 4. - Article 1242. - DOI: 10.1038/s42003-021-02563-7.
160. Deng, F. Molecular mapping of a novel non-canonical gibberellin-sensitive dwarfing gene *Rht29* in wheat (*Triticum aestivum*) / F. Deng, J. Zhang, Y. Tang [et al.] // Theoretical and Applied Genetics. - 2026. - V. 139. - Article 182. - DOI: 10.1007/s00122-026-05299-2.
161. Diamond, J. Guns, germs and steel: the fates of human societies / J. Diamond. - New York : W. W. Norton, 1997. – 480 p.
162. Distelfeld, A. Regulation of flowering in temperate cereals / A. Distelfeld, C. Li, J. Dubcovsky // Current Opinion in Plant Biology. - 2009. - V. 12. - P. 178-184.
163. Divashuk, M. G. Reduced height genes and their importance in winter wheat cultivars grown in southern Russia / M. G. Divashuk, L. A. Bessalova, A. V. Vasilyev [et al.] // Euphytica. - 2013. - V. 190. - P. 137-144. - DOI: 10.1007/s10681-012-0789-7.
164. Doyle, P. J. DNA protocols for plants / P. J. Doyle // Molecular Techniques in Taxonomy / ed. by G. M. Hewitt, A. W. B. Johnston, J. P. W. Young. - Berlin ; Heidelberg : Springer, 1991. - P. 283-293. - (NATO ASI Series). - DOI: 10.1007/978-3-642-83962-7_18.
165. Ellis, H. Perfect markers for the *Rht-B1b* and *Rht-D1b* dwarfing genes in wheat / M. H. Ellis, W. Spielmeyer, R. Gale, G. J. Rebetzke, R. A. Richards // Theoretical and Applied Genetics. - 2002. - V. 105. - P. 1038-1042. - DOI: 10.1007/s00122-002-1048-4.
166. Ernst, O. R. Shifting crop-pasture rotations to no-till annual cropping reduces soil quality and wheat yield / O. R. Ernst, S. Dogliotti, M. Cadenazzi, A. R. Kemanian // Field Crops Research. - 2018. - V. 217. - P. 180-187. - DOI: 10.1016/j.fcr.2017.11.014.
167. FAO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2017 / FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO. - Rome : FAO, 2017. – 117 p.
168. Fischer, R. A. Breeding wheat for increased potential yield: contrasting ideas from Donald and Fasoulas, and the case for early generation selection under nil competition / R. A. Fischer // Field Crops Research. - 2020. - V. 252. - Article 107782.

169. Foreign Agricultural Service, U.S. Department of Agriculture. Wheat: production, supply, and distribution (PSD) data: site. - URL: <https://www.fas.usda.gov/data/production/0410000> (date accessed: 10.03.2026).
170. Friedli, C. N. Modern wheat semi-dwarfs root deep on demand: response of rooting depth to drought in a set of Swiss era wheats covering 100 years of breeding / C. N. Friedli, S. Abiven, D. Fossati [et al.] // *Euphytica*. - 2019. - V. 215. - Article 85. - DOI: 10.1007/s10681-019-2404-7.
171. Fu, D. Large deletions within the first intron in *VRN-1* are associated with spring growth habit in barley and wheat / D. Fu, P. Szucs, L. Yan [et al.] // *Molecular Genetics and Genomics*. - 2005. - V. 273, №4. - P. 54-65. - DOI: 10.1007/s00438-004-1095-4.
172. Galimova, A. A. Genetic polymorphism of high-molecular-weight glutenin subunit loci in bread wheat varieties in the pre-Ural steppe zone / A. A. Galimova, A. R. Kuluev, K. R. Ismagilov, B. R. Kuluev // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. - 2023. - V. 27, № 4. - P. 297-305. - DOI: 10.18699/VJGB-23-36.
173. Gianibelli, M. C. Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat endosperm proteins / M. C. Gianibelli, O. Larroque, F. MacRitchie, C. W. Wrigley // *Cereal Chemistry*. - 2001. - V. 78, № 6. - P. 635-646.
174. Gill, B. S. Resistance in *Aegilops squarrosa* to wheat leaf rust, wheat powdery mildew, greenbug, and Hessian fly / B. S. Gill, W. J. Raupp, H. C. Sharma [et al.] // *Plant Disease*. - 1986. - V. 70. - P. 553-556.
175. Godfray, H. C. J. Food security: the challenge of feeding 9 billion people / H. C. J. Godfray, J. R. Beddington, I. R. Crute [et al.] // *Science*. - 2010. - V. 327. - P. 812-818. - DOI: 10.1126/science.1185383.
176. Grover, G. *Rht8* gene as an alternate dwarfing gene in elite Indian spring wheat cultivars / G. Grover, A. Sharma, H. S. Gill [et al.] // *PLoS ONE*. - 2018. - V. 13, № 6. - Article e0199330. - DOI: 10.1371/journal.pone.0199330.
177. Guo, H. High-molecular-weight glutenin 1Bx17 and 1By18 subunits encoded by *Glu-B1i* enhance rheological properties and breadmaking quality of wheat dough / H. Guo, J. Wu, Y. Lu, Y. Yan // *Journal of Food Quality*. - 2019. - Article 1958747. - 8 p. - DOI: 10.1155/2019/1958747.

178. Hedden, P. The genes of the Green Revolution / P. Hedden // Trends in Genetics. - 2003. - V. 19, № 1. - P. 5-9. - DOI: 10.1016/S0168-9525(02)00009-4.
179. Helman, D. Six decades of warming and drought in the world's top wheat-producing countries offset the benefits of rising CO₂ to yield / D. Helman, D. J. Bonfil // Scientific Reports. - 2022. - V. 12. - Article 7921. - DOI: 10.1038/s41598-022-11423-1.
180. Hiebert, C. W. Genetics and mapping of stem rust resistance to Ug99 in the wheat cultivar Webster / C. W. Hiebert, T. G. Fetch Jr., T. Zegeye // Theoretical and Applied Genetics. - 2010. - V. 121, № 1. - P. 65-69. - DOI: 10.1007/s00122-010-1291-z.
181. Hoffmann, B. Alteration of drought tolerance of winter wheat caused by translocation of rye chromosome segment 1RS / B. Hoffmann // Cereal Research Communications. - 2008. - V. 36. - P. 269-278. - DOI: 10.1556/CRC.36.2008.2.7.
182. Hsam S., Lapochkina I., Zeller F. Chromosomal location of genes for resistance to powdery mildew in common wheat (*Triticum aestivum* L.). Gene *Pm32* in a wheat-*Aegilops speltoides* translocation line // Euphytica. – 2003. – V. 133. – P. 367–370.
183. Jobson, E. M. The impact of the wheat *Rht-B1b* semi-dwarfing allele on photosynthesis and seed development under field conditions / E. M. Jobson, R. E. Johnston, A. J. Oiestad [et al.] // Frontiers in Plant Science. - 2019. - V. 10. - Article 51. - DOI: 10.3389/fpls.2019.00051.
184. Kaplin, V. G. Influence of the Russian wheat aphid *Diuraphis noxia* (Kurdjumov) (Homoptera, Aphididae) on productive qualities of spring bread wheat and barley grown from the seeds from aphid-infested spikes / V. G. Kaplin, Yu. A. Sharapova // Entomological Review. - 2017. - V. 97, № 4. - P. 415-424. - DOI: 10.1134/S0013873817040030.
185. Karki, D. Investigating physiological and morphological mechanisms of drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) lines with 1RS translocation / D. Karki, W. Wyant, W. Berzonsky, K. Glover // American Journal of Plant Sciences. - 2014. - V. 5. - P. 1936-1944. - DOI: 10.4236/ajps.2014.513207.
186. Kasemsap, P. Breeding for higher yields of wheat and rice through modifying nitrogen metabolism / P. Kasemsap, A. J. Bloom // Plants. - 2023. - V. 12, № 1. - Article 85. - DOI: 10.3390/plants12010085.

187. Khalid, M. Molecular characterization of 87 functional genes in wheat diversity panel and their association with phenotypes under well-watered and water-limited conditions / M. Khalid, F. Afzal, A. Gul [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. - 2019. - V. 10. - Article 717. - DOI: 10.3389/fpls.2019.00717.
188. Khlestkina, E.K. Vavilov's series of the "Green Revolution" genes / E.K. Khlestkina, N. A. Shvachko, A. A. Zavarzin [et al.] // *Russian Journal of Genetics*. - 2020. - V. 56. - P. 1371-1380. - DOI: 10.1134/S1022795420110046.
189. Kihara, H. Discovery of the DD-analyser, one of the ancestors of *Triticum vulgare* / H. Kihara // *Agriculture and Horticulture*. - 1944. - V. 19. - P. 889-890.
190. Kippes, N. Fine mapping and epistatic interactions of the vernalization gene *Vrn-D4* in hexaploid wheat / N. Kippes, J. Zhu, A. Chen [et al.] // *Molecular Genetics and Genomics*. - 2014. - V. 289. - P. 47-62. - DOI: 10.1007/s00438-013-0788-y.
191. Kirov, I. Searching for a needle in a haystack: *Cas9*-targeted nanopore sequencing and DNA methylation profiling of full-length glutenin genes in a big cereal genome / I. Kirov, E. Polkhovskaya, M. Dudnikov [et al.] // *Plants*. - 2022. - V. 11, № 1. - Article 5. - DOI: 10.3390/plants11010005.
192. Kiszonas, A. M. Relationships between falling number, α -amylase activity, milling, cookie, and sponge cake quality of soft white wheat / A. M. Kiszonas, D. A. Engle, L. A. Pierantoni, C. F. Morris // *Cereal Chemistry*. - 2018. - V. 95. - P. 373-385. - DOI: 10.1002/cche.10041.
193. Kolmer, J. A. Analysis of the *Lr34/Yr18* rust resistance region in wheat germplasm / J. A. Kolmer, R. P. Singh, D. F. Garvin [et al.] // *Crop Science*. - 2008. - V. 48. - P. 1841-1852. - DOI: 10.2135/cropsci2007.08.0474.
194. Korobkova, V. A. Permanent spreading of 1RS.1AL and 1RS.1BL translocations in modern wheat breeding / V. A. Korobkova, L. A. Bessalova, A. S. Yanovsky [et al.] // *Plants*. - 2023. - V. 12, № 6. - Article 1205. - DOI: 10.3390/plants12061205.
195. Korzun, V. Genetic analysis of the dwarfing gene *Rht8* in wheat. Part I. Molecular mapping of *Rht8* on the short arm of chromosome 2D of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) / V. Korzun, M. Röder, M. Ganai, A. J. Worland, C. N. Law // *Theoretical and Applied Genetics*. - 1998. - V. 96. - P. 1104-1109. - DOI: 10.1007/s001220050845.

196. Kroupin, P. Y. Association of high-molecular-weight glutenin subunits with grain and pasta quality in spring durum wheat (*Triticum turgidum* spp. *durum* L.) / P. Y. Kroupin, L. A. Beshpalova, A. Y. Kroupina [et al.] // Agronomy. - 2023. - V. 13, № 6. - Article 1510. - DOI: 10.3390/agronomy13061510.
197. Kroupin, P. Yu. Effects of *Rht17* in combination with *Vrn-B1* and *Ppd-D1* alleles on agronomic traits in wheat in black earth and non-black earth regions / P. Yu. Kroupin, G. I. Karlov, L. A. Beshpalova [et al.] // BMC Plant Biology. - 2020. - V. 21(1), 43. - Article 304. - DOI: 10.1186/s12870-020-02514-0.
198. Kumlay, A. M. Understanding the effect of rye chromatin in bread wheat / A. M. Kumlay, P. S. Baenziger, K. S. Gill [et al.] // Crop Science. - 2003. - V. 43, № 5. - P. 1643-1651. - DOI: 10.2135/cropsci2003.1643.
199. Law, C. A genetic study of day-length response in wheat / C. Law, J. Sutka, A. Worland // Heredity. - 1978. - V. 41. - P. 185-191. - DOI: 10.1038/hdy.1978.87.
200. Lee, J. H. Quality and biochemical effects of a 1RS.1BL wheat-rye translocation in wheat / J. H. Lee, R. A. Graybosch, C. J. Peterson // Theoretical and Applied Genetics. - 1995. - V. 90. - P. 105-112. - DOI: 10.1007/BF00221002.
201. Lekomtseva, S. N. Races of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Russian Federation in 2006 / S. N. Lekomtseva, V. T. Volkova, L. G. Zaitseva [et al.] // Annual Wheat Newsletter. - 2008. - V. 54. - P. 188-190
202. Lekomtseva, S. N. Races of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Russian Federation in 2001-2005 / S. N. Lekomtseva, V. T. Volkova, L. G. Zaitseva, M. N. Chaika, E. S. Skolotneva // Annual Wheat Newsletter. - 2007. - V. 53. - P. 65-67.
203. Li, A. Synthetic hexaploid wheat: yesterday, today, and tomorrow / A. Li, D. Liu, W. Yang, M. Kishii, L. Mao // Engineering. - 2018. - V. 4. - P. 552-558. - DOI: 10.1016/j.eng.2018.07.001.
204. Li, C. X. Wheat *VRN-1*, *FUL2* and *FUL3* play critical and redundant roles in spikelet development and spike determinacy / C. X. Li, H. Q. Lin, A. Chen [et al.] // Development. - 2019. - V. 146. - P. 1-11. - DOI: 10.1101/510388.
205. Liu, Z. Genetic mapping and isolation of *Rht28*, a locus on wheat chromosome arm 2AL affecting plant height, grain size, and grain weight / Z. Liu, J. Zhu, Q. Zhao [et al.]

- // Theoretical and Applied Genetics. - 2025. - V. 138. - Article 218. - DOI: 10.1007/s00122-025-05006-7.
206. Loukoianov, A. Regulation of *Vrn-1* vernalization genes in normal and transgenic polyploid wheat / A. Loukoianov, L. Yan, A. Blechl, A. Sanchez, J. Dubcovsky // Plant Physiology. - 2005. - V. 138, № 4. - P. 2364-2373. - DOI: 10.1104/pp.105.064287.
207. McFadden, E. S. The origin of *Triticum spelta* and its free-threshing hexaploid relatives / E. S. McFadden, E. R. Sears // The Journal of Heredity. - 1946. - V. 37. - P. 81-107. - DOI: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a105590.
208. McIntosh, R. A. Catalogue of gene symbols for wheat / R. A. McIntosh, Y. Yamazaki, K. M. Devos [et al.] ; U.S. Department of Agriculture. - 2003. - URL: <http://wheat.pw.usda.gov/ggpages/wgc/2003/> (10.05.2025).
209. Mettin, D. Additional evidence on spontaneous 1B/1R wheat-rye substitutions and translocations / D. Mettin, W. D. Bluthner, G. Schlegel // Proceedings of the Fourth International Wheat Genetics Symposium / ed. by E. R. Sears, L. M. S. Sears. - Columbia : Missouri Agricultural Experiment Station, 1973. - P. 179-184.
210. Mujeeb-Kazi, A. A second, elite set of synthetic hexaploid wheats based upon multiple disease resistance / A. Mujeeb-Kazi, R. Delgado // Annual Wheat Newsletter. - 2001. - V. 47. - P. 114-115.
211. Murray, M. G. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA / M. G. Murray, W. F. Thompson // Nucleic Acids Research. - 1980. - V. 8, № 19. - P. 4321-4325. - DOI: 10.1093/nar/8.19.4321.
212. Nishida, H. Structural variation in the 5' upstream region of photoperiod-insensitive alleles *Ppd-A1a* and *Ppd-B1a* identified in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) and their effect on heading time / H. Nishida, T. Yoshida, K. Kawakami [et al.] // Molecular Breeding. - 2013. - V. 31. - P. 27-37. - DOI: 10.1007/s11032-012-9765-0.
213. Ogbonnaya, F. C. Synthetic hexaploids: harnessing species of the primary gene pool for wheat improvement / F. C. Ogbonnaya, O. Abdalla, A. Mujeeb-Kazi [et al.] // Plant Breeding Reviews. - 2013. - V. 37. - P. 35-122. - DOI: 10.1002/9781118497869.ch2.
214. Ouyang, X. Knock out of the *PHOSPHATE 2* gene *TaPHO2-A1* improves phosphorus uptake and grain yield under low phosphorus conditions in common wheat /

- X. Ouyang, X. Hong, X. Zhao [et al.] // Scientific Reports. - 2016. - V. 6. - Article 29850. - DOI: 10.1038/srep29850.
215. Payne, P. I. Catalogue of alleles for the complex gene loci *Glu-A1*, *Glu-B1*, *Glu-D1* which code for high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat / P. I. Payne, G. J. Lawrence // Cereal Research Communications. - 1983. - V. 11. - P. 29-35.
216. Payne, P. I. Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on bread-making quality / P. I. Payne // Annual Review of Plant Physiology. - 1987. - V. 38. - P. 141-153.
217. Pearce, S. Molecular characterization of *Rht-1* dwarfing genes in hexaploid wheat / S. Pearce, R. Saville, S. P. Vaughan [et al.] // Plant Physiology. - 2011. - V. 157, № 4. - P. 1820-1831. - DOI: 10.1104/pp.111.183657.
218. Peng, J. “Green revolution” genes encode mutant gibberellin response modulators / J. Peng, D. E. Richards, N. M. Hartley [et al.] // Nature. - 1999. - V. 400. - P. 256-261. - DOI: 10.1038/22307.
219. Peterson, R. F. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals / R. F. Peterson, A. B. Campbell, A. E. Hannah // Canadian Journal of Research. - 1948. - V. 26, № 5. - P. 496-500. - DOI: 10.1139/cjr48c-033.
220. Pieruschka, R. Plant phenotyping: past, present, and future / R. Pieruschka, U. Schurr // Plant Phenomics. - 2019. - Article 7507131. - DOI: 10.34133/2019/7507131.
221. Pinthus, M. J. Evaluation of winter wheat as a source of high yield potential for the breeding of spring wheat / M. J. Pinthus // Euphytica. - 1967. - V. 16. - P. 231-251.
222. Polkhovskaya, E. Nanopore amplicon sequencing allows rapid identification of glutenin allelic variants in a wheat collection / E. Polkhovskaya, I. Gruzdev, E. Moskalev [et al.] // Agronomy. - 2024. - V. 14, № 1. - Article 13. - DOI: 10.3390/agronomy14010013.
223. Porotnikov, I. V. A system of molecular markers to identify alleles of the *Rht-B1* and *Rht-D1* genes controlling reduced height in bread wheat / I. V. Porotnikov, O. P. Mitrofanova, O. Y. Antonova // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. - 2022. - V. 26, № 2. - P. 128-138. - DOI: 10.18699/VJGB-22-16.

224. Rabinovich, S. V. Importance of wheat-rye translocations for breeding modern cultivar of *Triticum aestivum* L. / S. V. Rabinovich // *Euphytica*. - 1998. - V. 100. - P. 323-340. - DOI: 10.1023/A:1018361819215.
225. Rahaman, M. M. Advanced phenotyping and phenotype data analysis for the study of plant growth and development / M. M. Rahaman, D. Chen, Z. Gillani, C. Klukas, M. Chen // *Frontiers in Plant Science*. - 2015. - V. 6. - Article 619. - DOI: 10.3389/fpls.2015.00619.
226. Rahmatov, M. A new 2DS.2RL Robertsonian translocation transfers stem rust resistance gene *Sr59* into wheat / M. Rahmatov, M. N. Rouse, J. Nirmala [et al.] // *Theoretical and Applied Genetics*. - 2016. - V. 129. - P. 1383-1392. - DOI: 10.1007/s00122-016-2710-6.
227. Rasheed, A. Development and validation of KASP assays for genes underpinning key economic traits in bread wheat / A. Rasheed, W. Wen, F. Gao [et al.] // *Theoretical and Applied Genetics*. - 2016. - V. 129, № 10. - P. 1843-1860. - DOI: 10.1007/s00122-016-2743-x.
228. Ray, D. K. Recent patterns of crop yield growth and stagnation / D. K. Ray, N. D. Mueller, P. C. West, J. A. Foley // *Nature Communications*. - 2012. - V. 3. - Article 1293.
229. Rebetzke, G. J. Height reduction and agronomic performance for selected gibberellin-responsive dwarfing genes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) / G. J. Rebetzke, M. H. Ellis, D. G. Bonnett [et al.] // *Field Crops Research*. - 2012. - V. 126. - P. 87-96. - DOI: 10.1016/j.fcr.2011.09.022.
230. Reynolds, M. P. Strategic crossing of biomass and harvest index source and sink achieves genetic gains in wheat / M. P. Reynolds, A. J. D. Pask, W. J. E. Hoppitt [et al.] // *Euphytica*. - 2017. - V. 213. - Article 257. - DOI: 10.1007/s10681-017-2040-z.
231. Röder, M. S. A microsatellite map of wheat / M. S. Röder, V. Korzun, K. Wendehake [et al.] // *Genetics*. - 1998. - V. 149, № 4. - P. 2007-2023. - DOI: 10.1093/genetics/149.4.2007.
232. Roelfs, A. P. Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management / A. P. Roelfs, R. P. Singh, E. E. Saari. - Mexico, D. F.: CIMMYT, 1992. - 81 p.

233. Roncallo, P. F. Allelic variation at glutenin loci (*Glu-1*, *Glu-2* and *Glu-3*) in a worldwide durum wheat collection and its effect on quality attributes / P. F. Roncallo, C. Guzmán, A. O. Larsen [et al.] // *Foods*. - 2021. - V. 10, № 11. - Article 2845. - DOI: 10.3390/foods10112845.
234. Rosyara, U. Genetic contribution of synthetic hexaploid wheat to CIMMYT's spring bread wheat breeding germplasm / U. Rosyara, M. Kishii, T. Payne [et al.] // *Scientific Reports*. - 2019. - V. 9. - Article 12355. - DOI: 10.1038/s41598-019-47936-5.
235. Rozbicki, J. Influence of the cultivar, environment and management on the grain yield and bread-making quality in winter wheat / J. Rozbicki, A. Ceglińska, D. Gozdowski, M. Wijata // *Journal of Cereal Science*. - 2014. - V. 61. - P. 126-132. - DOI: 10.1016/j.jcs.2014.11.001.
236. Saal, B. Development of simple sequence repeat markers in rye (*Secale cereale* L.) / B. Saal, G. Wricke // *Genome*. - 1999. - V. 42, № 5. - P. 964-972.
237. Scarth, R. The control of the day-length response in wheat by the group 2 chromosomes / R. Scarth, C. N. Law // *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*. - 1984. - V. 92. - P. 140-150.
238. Scarth, R. The location of the photoperiod gene, *Ppd2*, and an additional factor for ear emergence time on chromosome 2B of wheat / R. Scarth, C. N. Law // *Heredity*. - 1983. - V. 51. - P. 607-619.
239. Schlegel, R. Current list of wheats with rye and alien introgression V04-23 / R. Schlegel. - 2023. - P. 1-19. - URL: [<https://www.rye-gene-map.de/rye-introgression/>] (date accessed: 01.01.2025).
240. Sharma, A. Evaluation of end use quality and root traits in wheat cultivars associated with 1RS.1BL translocation / A. Sharma, I. Sheikh, R. Kumar [et al.] // *Euphytica*. - 2018. - V. 214. - Article 62. - DOI: 10.1007/s10681-018-2144-0.
241. Shepelev, S. Variation of Macro- and Microelements, and Trace Metals in Spring Wheat Genetic Resources in Siberia / S. Shepelev, A. Morgounov, P. Flis, H. Koxsel, H. Li, T. Savin, R. Sharma, J. Wang, V. Shamanin // *Plants*. – 2022. – Vol. 11, № 2. – Art. 149. – DOI: 10.3390/plants11020149.

242. Shewry, P. R. Genetics of wheat gluten proteins / P. R. Shewry, N. G. Halford, D. Lafiandra // *Advances in Genetics*. - 2003. - V. 49. - P. 111-184. - DOI: 10.1016/S0065-2660(03)01003-4.
243. Shewry, P. R. High molecular weight subunits of wheat glutenin / P. R. Shewry, N. G. Halford, A. S. Tatham // *Journal of Cereal Science*. - 1992. - V. 15, № 2. - P. 105-120. - DOI: 10.1016/S0733-5210(09)80062-3.
244. Si, Y. Fine mapping of the tiller inhibition gene *TIN5* in *Triticum urartu* / Y. Si [et al.] // *Theoretical and Applied Genetics*. - 2022. - V. 135, № 8. - P. 2665-2673. - DOI: 10.1007/s00122-022-04140-w.
245. Singh, N. K. A simplified SDS-PAGE procedure for separating LMW subunits of glutenin / N. K. Singh, K. W. Shepherd, G. B. Cornish // *Journal of Cereal Science*. - 1991. - V. 14. - P. 203-208.
246. Singh, R. P. The emergence of Ug99 races of the stem rust fungus is a threat to world wheat production / R. P. Singh, D. P. Hodson, J. Huerta-Espino [et al.] // *Annual Review of Phytopathology*. - 2011. - V. 49. - P. 465-481. - DOI: 10.1146/annurev-phyto-072910-095423.
247. Smekenov, I. A polyclonal antibody against a recombinantly expressed *Triticum aestivum* *RHT-D1A* protein / I. Smekenov, S. Alybayev, T. Ayupov, G. Rakhmatullaeva, A. Bissenbaev // *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. - 2020. - V. 18, № 1. - Article 52. - DOI: 10.1186/s43141-020-00072-4.
248. Stelmakh, A. F. Growth habit in common wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell.) / A. F. Stelmakh // *Euphytica*. - 1987. - V. 36. - P. 513-519.
249. Sukhikh, I. S. Diversity and phenotypical effect of allelic variants of Rht dwarfing genes in wheat / I. S. Sukhikh, V. J. Vavilova, A. G. Blinov [et al.] // *Russian Journal of Genetics*. - 2021. - V. 57. - P. 127-138. - DOI: 10.1134/S1022795421020101.
250. Tabbita, F. Assessing Payne score accuracy through a bread wheat multi-genotype and multi-environment set from CIMMYT / F. Tabbita, M. I. Ibba, F. Andrade, J. Crossa, C. Guzmán // *Journal of Cereal Science*. - 2024. - V. 115. - Article 103830. - DOI: 10.1016/j.jcs.2023.103830.

251. Tabiki, T. Effects of high-molecular-weight and low-molecular-weight glutenin subunit alleles on common wheat flour quality / T. Tabiki, S. Ikeguchi, T. M. Ikeda // *Breeding Science*. - 2006. - V. 56, № 2. - P. 131-136. - DOI: 10.1270/jsbbs.56.131.
252. Tahir, R. Evaluation of Pakistani elite wheat germplasm for T1BL.1RS chromosome translocation / R. Tahir, H. Bux, A. G. Kazi [et al.] // *Journal of Agricultural Science and Technology*. - 2014. - V. 16. - P. 421-432.
253. Tester, M. Breeding technologies to increase crop production in a changing world / M. Tester, P. Langridge // *Science*. - 2010. - V. 327, № 5967. - P. 818-822. - DOI: 10.1126/science.1183700.
254. Tilman, D. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture / D. Tilman, C. Balzer, J. Hill, B. L. Befort // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. - 2011. - V. 108, № 50. - P. 20260-20264. - DOI: 10.1073/pnas.1116437108.
255. Vazquez, D. Influence of cultivar and environment on quality of Latin American wheats / D. Vazquez, A. G. Berger, M. Cuniberti [et al.] // *Journal of Cereal Science*. - 2012. - V. 56, № 2. - P. 196-203. - DOI: 10.1016/j.jcs.2012.03.004.
256. Violle, C. Let the concept of trait be functional! / C. Violle, M.-L. Navas, D. Vile [et al.] // *Oikos*. - 2007. - V. 116. - P. 882-892.
257. Vitale, J. Economics of wheat breeding strategies: focusing on Oklahoma hard red winter wheat / J. Vitale, B. Adam, P. Vitale // *Agronomy*. - 2020. - V. 10, № 2. - Article 238. - DOI: 10.3390/agronomy10020238.
258. Walsh, O. S. Seeding rate and nitrogen fertilizer rate effect on dryland no-till hard red spring wheat yield and quality / O. S. Walsh, W. L. Walsh // *Agrosystems, Geosciences and Environment*. - 2020. - V. 3, № 1. - Article e20001. - DOI: 10.1002/agg2.20001.
259. Wang, G. The high-molecular-weight glutenin subunit compositions of Chinese bread wheat varieties and their relationship with bread-making quality / G. Wang, J. Snape, H. Hu, W. Rogers // *Euphytica*. - 1993. - V. 68. - P. 205-212. - DOI: 10.1007/BF00029874.

260. Wang, Y. Comparing the effects of GA-responsive dwarfing genes *Rht13* and *Rht8* on plant height and some agronomic traits in common wheat / Y. Wang, Y. Du, Z. Yang [et al.] // Field Crops Research. - 2015. - V. 179. - P. 35-43. - DOI: 10.1016/j.fcr.2015.04.010.
261. Weng, Y. PCR-based markers for detection of different sources of 1AL.1RS and 1BL.1RS wheat-rye translocations in wheat background / Y. Weng, R. N. Devkota, J. C. Rudd // Plant Breeding. - 2007. - V. 126. - P. 482-486. - DOI: 10.1111/j.1439-0523.2007.01331.x.
262. Worland, A. J. The influence of photoperiod genes on the adaptability of European winter wheat / A. J. Worland, A. Börner, V. Korzun [et al.] // Euphytica. - 1998. - V. 100. - P. 385-394. - DOI: 10.1023/A:1018327700985.
263. Worland, A., Korzun, V., Röder, M. et al. Genetic analysis of the dwarfing gene *Rht8* in wheat. Part II. The distribution and adaptive significance of allelic variants at the *Rht8* locus of wheat as revealed by microsatellite screening. Theor Appl Genet 96, 1110–1120 (1998). DOI:10.1007/s001220050846
264. Xu, D. Impact of “Green Revolution” gene *Rht-B1b* on coleoptile length of wheat / D. Xu, Q. Hao, T. Yang [et al.] // Frontiers in Plant Science. - 2023. - V. 14. - Article 1147019. - DOI: 10.3389/fpls.2023.1147019.
265. Xu, Y. Marker-assisted selection in plant breeding: from publications to practice / Y. Xu, J. H. Crouch // Crop Science. - 2008. - V. 48. - P. 391-407.
266. Yan, L. Allelic variation at the *VRN-1* promoter region in polyploid wheat / L. Yan, M. Helguera, K. Kato [et al.] // Theoretical and Applied Genetics. - 2004. - V. 109, № 8. - P. 1677-1686. - DOI: 10.1007/s00122-004-1796-4.
267. Yan, L. Positional cloning of the wheat vernalization gene VRN-1 / L. Yan, A. Loukoianov, G. Tranquilli [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. - 2003. - V. 100, № 10. - P. 6263-6268. - DOI: 10.1073/pnas.0937399100.
268. Yan, L. The wheat and barley vernalization gene *VRN3* is an orthologue of *FT* / L. Yan, D. Fu, C. Li [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences of the

- United States of America. - 2006. - V. 103. - P. 19581-19586. - DOI: 10.1073/pnas.0607142103.
269. Zeleneva, Yu. V. Influence of agroclimatic conditions, life form, and host species on the species complex of wheat septoria pathogens / Yu. V. Zeleneva, O. S. Afanasenko, V. P. Sudnikova // *Biology Bulletin*. - 2021. - V. 48, № 10. - P. 74-80. - DOI: 10.35885/1684-7318-2020-2-177-190.
270. Zeller, F. J. 1B/1R wheat-rye substitutions and translocations / F. J. Zeller // *Proceedings of the 4th International Wheat Genetics Symposium*. - Columbia, 1973. - P. 209-221.
271. Zhang, K. Association analysis of genomic loci important for grain weight control in elite common wheat varieties cultivated with variable water and fertiliser supply / K. Zhang, J. Wang, L. Zhang [et al.] // *PLoS ONE*. - 2013. - V. 8, № 3. - Article e0057853. - DOI: 10.1371/journal.pone.0057853.
272. Zhang, Y. Characterization of near-isogenic lines confirmed QTL and revealed candidate genes for plant height and yield-related traits in common wheat / Y. Zhang, H. Liu, G. Yan // *Molecular Breeding*. - 2021. - V. 41, № 1. - Article 4. - DOI: 10.1007/s11032-020-01196-8.
273. Zhao, C. H. Transmission of the chromosome 1R in winter wheat germplasm Aimengniu and its derivatives revealed by molecular markers / C. H. Zhao, F. Cui, H. Zong [et al.] // *Chinese Agricultural Science*. - 2009. - V. 8. - P. 652-657.
274. Zhao, H. Quality differences between NILs of wheat variety Longmai 20 possessing HMW-GS 7^{OE}+8* and 17+18 / H. Zhao, C. Gao, W. Song [et al.] // *Cereal Research Communications*. - 2020. - V. 48. - P. 493-498. - DOI: 10.1007/s42976-020-00052-x.
275. Zhou, X. Identification of *Rht1* for plant height reduction in two wheat mutants and the effects on yield components / X. Zhou, Q. Wang, H. Guo [et al.] // *Journal of Plant Physiology*. - 2025. - V. 305. - Article 154420. - DOI: 10.1016/j.jplph.2025.154420.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А.1 – Сорта и линии яровой мягкой пшеницы, использованные в исследовании, их разновидность и родословная

№ п/п	Название	Разновидность	Родословная
1	Злата (st)	lutescens	F4 (Иволга × Прохоровка)
2	Саратовская 74	albidum	(Саратовская 68 × Альбидум 2093) × (Альбидум 2093 × Саратовская 70)
3	Агата	lutescens	Артемовка × Мильтурум 63
4	Тулайковская 108	lutescens	Тулайковская белозерная × Лютесценс 1222
5	Симбирцит	lutescens	(Крестьянка × Ишеевская) × Л 503
6	Тюменская 29	lutescens	БТ-34 × Лютесценс 70
7	Обская 2	lutescens	Новосибирская 20 × Тулайковская 10
8	Тобольская	lutescens	Лютесценс 123/с × Омская 20
9	Алтайская Жница	lutescens	Комсомольская 90 × Лютесценс 281
10	Маргарита	lutescens	Линий (550/93 × 368/91)
11	Учитель	albidum	(Оренбургская 1 × Целиноградка) × (Московская 35 × Леукоспермум 51) × Оренбургская 7
12	Фаворит	lutescens	Лютесценс 2033 × Беянка
13	Гранни	erythrospermum	line U236g × winter wheat (line 513)
14	Тризо	lutescens	Kadett × Weihenstephan Stamm.
15	Ирень	milturum	Иргина × Красноуфимская 90
16	Бомбона	lutescens	Информация о родословной отсутствует
17	Л-57	milturum	Л503 × Жозефина
18	Ласка	lutescens	F-2498-W-1-2 × Obrll
19	Арабелла	lutescens	CSw38337 × КОС 1284.
20	Гранова	erythrospermum	Индивидуальный отбор из сорта Гранни
21	Мандарина	lutescens	Информация о родословной отсутствует
22	Золушка	голубозерная	Отбор образец из ВИР
23	Канюк	lutescens	Belvoir × [(Mexikaner x Sappo) × Sokrates]

Продолжение Приложения А.1 – Линии яровой мягкой пшеницы селекции CIMMYT, использованные в исследовании, их разновидность и родословная

24	Линия №23	lutescens	Gle*2//PBW343*2/Tukuru
25	Линия №35	lutescens	Long Chun 15*2/4/Croc1/ <i>Aegilops tauschii</i> (224) //Yaco/3/Munia
26	Линия №59	graecum	Gle//Prl/2*Pastor/3/Omskaya 33
27	Линия №65	hostianum	Croc 1/ <i>Aegilops tauschii</i> (205)// Kauz/3/Sasia/4/Chuan Mai 28
28	Линия №66	lutescens	Lutescens 258.92.3/Gle
29	Линия №67	graecum	Pavlodarskaya 93/Sunstate
30	Линия №70	erythrospermum	Sonata/Vorb.
31	Линия №79	erythrospermum	Udacha/3/Pastor//Hxl 7573/2*Bau
32	Линия №147	erythrospermum	Stepnaya 15/3/Qing Haibei/Wbll 1//Brbt 2
33	Линия №150	erythrospermum	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
34	Линия №151	erythrospermum	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
35	Линия №152	erythrospermum	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
36	Линия №153	erythrospermum-	Lutescens 1085/7/Tob/Era//Tob/Cno 67/3/Plo/4/Vee#5/5/Kauz/6/Fret
37	Линия №178	erythrospermum	Omskaya 37/5/Seri*3//RI 6010/4*YR/3/Pastor/4/Bav 92
38	Линия №187	erythrospermum	Lutescens 210.99.10/4/Milan/Sha 7/3/Croc 1/ <i>Aegilops tauschii</i> (224) // Opata
39	Линия №215	erythrospermum	53.94.98.2/3/ <i>T. dicoccum</i> PI 94625/ <i>Aegilops tauschii</i> (372)//3*Pastor/4/ SVK 1369.2
40	Линия №217	erythrospermum	Fiton 42/3/ <i>T. dicoccum</i> PI 94625 / <i>Aegilops tauschii</i> (372)//3*Pastor/4/Gvk 1857.9
41	Линия №220	lutescens	Lutescens 196.94.6*2/Vorb
42	Линия №221	lutescens	Lutescens 196.94.6*2/Vorb
43	Линия №223	lutescens	Lutescens 196.94.6*2/Vorb

Приложение А.2 – Схема размещения сортов и линий яровой мягкой пшеницы на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

делянка	Образец	делянка	образец	делянка	образец
Иволга (защитка)		Иволга (защитка)		Иволга (защитка)	
45/III	Линия №223	44/III	Линия №221	43/III	Линия №220
42/III	Линия №217	41/III	Линия №215	40/III	Линия №187
39/III	Линия №178	38/III	Злата st	37/III	Линия №153
36/III	Линия №152	35/III	Линия №151	34/III	Линия №150
33/III	Линия №147	32/III	Линия №79	31/III	Линия №70
45/II	Линия №223	44/II	Линия №221	43/II	Линия №220
45/I	Линия №223	44/I	Линия №221	43/I	Линия №220
42/II	Линия №217	41/II	Линия №215	40/II	Линия №187
42/I	Линия №217	41/I	Линия №215	40/I	Линия №187
39/II	Линия №178	38/II	Злата st	37/II	Линия №153
39/I	Линия №178	38/I	Злата st	37/I	Линия №153
36/II	Линия №152	35/II	Линия №151	34/II	Линия №150
36/I	Линия №152	35/I	Линия №151	34/I	Линия №150
33/II	Линия №147	32/II	Линия №79	31/II	Линия №70
33/I	Линия №147	32/I	Линия №79	31/I	Линия №70
30/III	Линия №67	29/III	Линия №66	28/III	Линия №65
27/III	Линия №59	26/III	Линия №35	25/III	Линия №23
24/III	Канюк	23/III	Злата s	22/III	Золушка
21/III	Мандарина	20/III	Гранова	19/III	Арабелла
18/III	Ласка	17/III	Л-57	16/III	Бомбона
30/II	Линия №67	29/II	Линия №66	28/II	Линия №65
30/I	Линия №67	29/I	Линия №66	28/I	Линия №65
27/II	Линия №59	26/II	Линия №35	25/II	Линия №23
27/I	Линия №59	26/I	Линия №35	25/I	Линия №23
24/II	Канюк	23/II	Злата st	22/II	Золушка
24/I	Канюк	23/I	Злата st	22/I	Золушка
21/II	Мандарина	20/II	Гранова	19/II	Арабелла

Продолжение Приложения А.2

21/І	Мандарина	20/І	Гранова	19/І	Арабелла
18/ІІ	Ласка	17/ІІ	Л-57	16/ІІ	Бомбона
18/І	Ласка	17/І	Л-57	16/І	Бомбона
15/ІІІ	Ирень	14/ІІІ	Тризо	13/ІІІ	Гранни
12/ІІІ	Фаворит	11/ІІІ	Учитель	10/ІІІ	Маргарита
9/ІІІ	Алтайская Жница	8/ІІІ	Злата st	7/ІІІ	Тобольская
6/ІІІ	Обская 2	5/ІІІ	Тюменская 29	4/ІІІ	Симбирцит
3/ІІІ	Тулайковская 108	2/ІІІ	Агата	1/ІІІ	Саратовская 74
15/ІІ	Ирень	14/ІІ	Тризо	13/ІІ	Гранни
15/І	Ирень	14/І	Тризо	13/І	Гранни
12/ІІ	Фаворит	11/ІІ	Учитель	10/ІІ	Маргарита
12/І	Фаворит	11/І	Учитель	10/І	Маргарита
9/ІІ	Алтайская Жница	8/ІІ	Злата st	7/ІІ	Тобольская
9/І	Алтайская Жница	8/І	Злата st	7/І	Тобольская
6/ІІ	Обская 2	5/ІІ	Тюменская 29	4/ІІ	Симбирцит
6/І	Обская 2	5/І	Тюменская 29	4/І	Симбирцит
3/ІІ	Тулайковская 108	2/ІІ	Агата	1/ІІ	Саратовская 74
3/І	Тулайковская 108	2/І	Агата	1/І	Саратовская 74
Иволга (защитка)		Иволга (защитка)		Иволга (защитка)	
делянка	Образец	делянка	образец	делянка	образец
3 полоса		2 полоса		1 полоса	

Приложение Б.1 – Условия увлажнения и теплообеспеченности яровой мягкой пшеницы в 2022–2024 гг.

Показатели увлажнения и теплообеспеченности	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Сумма осадков, мм			
Межфазный период от посева до всходов	14,6	35,5	24,3
Межфазный период всходы до колошения	106,2	41,7	115,1
Межфазный период от колошения до полная спелости	87,2	215,7	124,9
В целом за вегетацию	208	292,9	264,3
Сумма активных температур, °C			
Межфазный период от посева до всходов	90,6	92,4	45,5
Межфазный период от всходов до колошения	527	587,3	565,8
Межфазный период от колошения до полной спелости	669,2	810,3	856,4
В целом за вегетацию	1286,8	1490	1467,7
ГТК			
Межфазный период от посева до всходов	1,3	3,8	5,3
Межфазный период от всходов до колошения	2,0	0,7	2,0
Межфазный период от колошения до полной спелости	1,3	2,7	1,4
В целом за вегетацию	1,5	1,9	1,8

Приложение Б.2 – Продолжительность межфазных периодов сортов яровой мягкой пшеницы в 2022–2024 гг.

Название	Межфазные периоды, сут.						Вегетационный период, сут.			Группа спелости	
	всходы – колошение			колошение – в спелость						по нашим данным	по данным Госреестра
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.		
Злата (st)	40,0	44,0	30,0	32,0	41,0	38,0	81,0	95,0	83,0	среднеранний	среднеранний
Саратовская 74	43,0	45,0	33,0	31,0	46,0	39,0	83,0	101,0	87,0	среднепоздний	среднеспелый
Агата	45,0	45,0	33,0	31,0	45,0	34,0	85,0	100,0	82,0	среднеспелый	среднеспелый
Тулайковская 108	45,0	50,0	35,0	30,0	41,0	35,0	84,0	101,0	85,0	среднепоздний	среднеспелый
Симбирцит	44,0	45,0	33,0	30,0	46,0	35,0	83,0	101,0	83,0	среднеспелый	среднеспелый
Тюменская 29	43,0	44,0	32,0	30,0	45,0	34,0	82,0	99,0	81,0	среднеранний	среднеспелый
Обская 2	45,0	49,0	35,0	30,0	42,0	33,0	84,0	101,0	83,0	среднеспелый	среднеспелый
Тобольская	48,0	50,0	38,0	33,0	41,0	31,0	90,0	101,0	84,0	позднеспелый	среднепоздний*
Алтайская Жница	45,0	49,0	35,0	30,0	42,0	34,0	84,0	101,0	84,0	среднепоздний	среднеспелый*
Маргарита	44,0	47,0	34,0	37,0	44,0	36,0	90,0	101,0	85,0	позднеспелый	среднеспелый*
Учитель	44,0	46,0	33,0	37,0	43,0	39,0	90,0	99,0	87,0	позднеспелый	среднеспелый
Фаворит	46,0	49,0	36,0	36,0	43,0	36,0	91,0	102,0	87,0	позднеспелый	среднеспелый*
Гранни	44,0	46,0	33,0	37,0	43,0	39,0	90,0	99,0	87,0	позднеспелый	среднеспелый
Тризо	45,0	47,0	33,0	36,0	44,0	35,0	90,0	101,0	83,0	среднепоздний	среднепоздний
Ирень	40,0	46,0	31,0	32,0	38,0	36,0	81,0	94,0	82,0	среднеранний	раннеспелый*
Бомбона	45,0	46,0	34,0	34,0	45,0	35,0	88,0	101,0	84,0	среднепоздний	среднеспелый*
Л-57	45,0	47,0	33,0	31,0	42,0	36,0	85,0	99,0	84,0	среднеспелый	среднеспелый
Ласка	43,0	44,0	31,0	32,0	47,0	39,0	84,0	101,0	85,0	среднепоздний	среднеспелый*
Арабелла	43,0	45,0	32,0	34,0	41,0	39,0	86,0	96,0	86,0	среднеспелый	среднеспелый
Гранова	42,0	46,0	32,0	37,0	43,0	37,0	88,0	99,0	84,0	среднепоздний	среднеспелый
Мандарина	46,0	47,0	35,0	35,0	44,0	33,0	90,0	101,0	83,0	среднепоздний	среднеспелый*
Канюк	47,0	49,0	36,0	29,0	40,0	31,0	85,0	99,0	82,0	среднеспелый	среднеспелый*
Золушка	44,0	47,0	34,0	29,0	37,0	35,0	82,0	94,0	84,0	среднеранний	среднеранний

*по данным оригинатора

Приложение Б.3 – Продолжительность межфазных периодов линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ в 2022–2024 гг.

Название	Межфазные периоды								Вегетационный период, дней				Группа спелости
	всход- колошение, дней				колошение-спелость, дней								
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	
Злата (st)	40,0	44,0	30,0	38,0	32,0	41,0	38,0	37,0	81,0	95,0	83,0	86,3	среднеранний
Линия №23	49,0	50,0	41,0	46,7	34,0	41,0	29,0	35,0	92,0	101,0	89,0	94,0	очень поздний
Линия №35	46,0	51,0	37,0	44,7	35,0	40,0	37,0	37,0	90,0	101,0	86,0	92,3	позднеспелый
Линия №59	44,0	49,0	37,0	43,3	31,0	42,0	34,0	36,0	84,0	101,0	87,0	90,7	среднепоздний
Линия №65	46,0	51,0	42,0	46,3	35,0	40,0	30,0	35,0	90,0	101,0	85,0	92,0	позднеспелый
Линия №66	45,0	48,0	38,0	43,7	34,0	43,0	32,0	36,0	88,0	101,0	87,0	92,0	позднеспелый
Линия №67	44,0	48,0	37,0	43,0	35,0	43,0	35,0	38,0	88,0	101,0	83,0	90,7	среднепоздний
Линия №70	44,0	46,0	34,0	41,3	30,0	39,0	34,0	34,0	83,0	95,0	85,0	87,7	среднеспелый
Линия №79	45,0	48,0	35,0	42,7	31,0	43,0	35,0	36,0	85,0	101,0	86,0	90,7	среднепоздний
Линия №147	42,0	45,0	32,0	39,7	32,0	42,0	39,0	38,0	83,0	97,0	83,0	87,7	среднеспелый
Линия №150	42,0	45,0	32,0	39,7	34,0	43,0	36,0	38,0	85,0	98,0	85,0	89,3	среднеспелый
Линия №151	42,0	46,0	32,0	40,0	41,0	40,0	38,0	40,0	92,0	96,0	86,0	91,3	среднепоздний
Линия №152	44,0	45,0	33,0	40,7	32,0	46,0	38,0	39,0	85,0	101,0	86,0	90,7	среднепоздний
Линия №153	50,0	51,0	40,0	47,0	33,0	42,0	31,0	35,0	92,0	103,0	93,0	96,0	очень поздний
Линия №178	46,0	48,0	37,0	43,7	37,0	43,0	41,0	40,0	92,0	101,0	86,0	93,0	позднеспелый
Линия №187	46,0	48,0	38,0	44,0	30,0	41,0	33,0	35,0	85,0	99,0	81,0	88,3	среднеспелый
Линия №215	45,0	46,0	33,0	41,3	32,0	45,0	33,0	37,0	86,0	101,0	84,0	90,3	среднепоздний
Линия №217	47,0	49,0	37,0	44,3	33,0	44,0	32,0	36,0	89,0	103,0	83,0	91,7	позднеспелый
Линия №220	43,0	46,0	34,0	41,0	30,0	38,0	34,0	34,0	82,0	94,0	81,0	85,7	среднеранний
Линия №221	42,0	45,0	31,0	39,3	31,0	46,0	37,0	38,0	82,0	94,0	83,0	86,3	среднеранний
Линия №223	42,0	45,0	31,0	39,3	31,0	46,0	37,0	38,0	82,0	101,0	83,0	88,6	среднеспелый

Приложение Б.4 – Высота растений и устойчивость к полеганию сортов яровой мягкой пшеницы в 2022–2024 гг.

Название	Высота растений, см				Устойчивость к полеганию, балл			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее
Злата (st)	82,5	63,5	77,4	74,5	5,0	4,5	5,0	4,8
Саратовская 74	92,5	78,5	70,2	80,4	5,0	4,5	5,0	4,8
Агата	72,5	60,0	62,4	65,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Тулайковская 108	87,5	65,0	81,2	77,9	5,0	5,0	5,0	5,0
Симбирцит	95,0	75,0	75,6	81,9	5,0	5,0	5,0	5,0
Тюменская 29	85,0	61,5	72,0	72,8	3,0	5,0	5,0	4,3
Обская 2	95,0	68,5	79,3	80,9	5,0	5,0	5,0	5,0
Тобольская	97,5	75,0	82,0	84,8	5,0	4,5	5,0	4,8
Алтайская Жница	95,0	73,0	79,8	82,6	5,0	4,0	5,0	4,7
Маргарита	102,5	73,3	72,7	82,8	3,0	3,5	5,0	3,8
Учитель	102,5	66,7	75,2	81,5	3,0	4,5	5,0	4,2
Фаворит	97,5	60,0	70,6	76,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Гранни	70,0	65,0	52,4	62,5	5,0	5,0	5,0	5,0
Тризо	75,0	60,0	61,6	65,5	5,0	4,5	5,0	4,8
Ирень	87,5	60,0	68,0	71,8	5,0	4,5	5,0	4,8
Бомбона	72,5	65,0	68,0	68,5	5,0	5,0	5,0	5,0
Л-57	77,5	53,0	73,0	67,8	5,0	4,5	5,0	4,8
Ласка	72,5	53,0	73,5	66,3	5,0	4,5	5,0	4,8
Арабелла	72,5	63,0	73,0	69,5	5,0	4,0	5,0	4,7
Гранова	65,0	57,0	75,5	65,8	5,0	5,0	5,0	5,0
Мандарина	77,5	55,0	76,0	69,5	5,0	4,5	5,0	4,8
Золушка	70,0	58,0	67,5	65,2	5,0	5,0	5,0	5,0
Канюк	70,0	55,0	80,5	68,5	5,0	4,5	5,0	4,8
НСР ₀₅	-	-	-	11,4	-	-	-	-
Коэффициент корреляции r=					-0,44	0,22	-	-0,38

Приложение Б.5 – Высота растений и устойчивость к полеганию линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ в 2022–2024 гг.

Название	Высота растений, см				Устойчивость к полеганию, балл			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее
Злата (st)	82,5	57,0	65,5	68,3	5,0	4,0	5,0	4,7
Линия №23	93,0	70,0	70,5	77,8	5,0	4,5	5,0	4,8
Линия №35	85,0	65,0	70,0	73,3	5,0	5,0	5,0	5,0
Линия №59	90,0	60,0	60,0	70,0	5,0	4,5	5,0	4,8
Линия №65	80,0	65,0	68,0	71,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Линия №66	98,0	60,0	75,5	77,8	5,0	4,0	5,0	4,7
Линия №67	83,0	55,0	83,0	73,7	5,0	5,0	5,0	5,0
Линия №70	92,5	53,3	64,5	70,1	5,0	4,5	5,0	4,8
Линия №79	92,5	61,7	72,0	75,4	5,0	4,0	5,0	4,7
Линия №147	100,0	66,7	68,5	78,4	5,0	3,0	5,0	4,3
Линия №150	90,0	63,3	56,0	69,8	5,0	4,5	5,0	4,8
Линия №151	92,5	56,7	70,5	73,2	5,0	4,0	5,0	4,7
Линия №152	92,5	70,0	75,5	79,3	5,0	4,5	5,0	4,8
Линия №153	90,0	53,3	73,0	72,1	5,0	4,5	5,0	4,8
Линия №178	92,5	73,3	72,0	79,3	5,0	5,0	5,0	5,0
Линия №187	90,0	63,3	60,0	71,1	5,0	4,5	5,0	4,8
Линия №215	100,0	65,0	57,0	74,0	5,0	3,5	5,0	4,5
Линия №217	105,0	65,0	73,5	81,2	5,0	4,5	5,0	4,8
Линия №220	95,0	68,3	68,0	77,1	5,0	3,5	5,0	4,5
Линия №221	87,5	66,7	78,5	77,6	5,0	4,0	5,0	4,7
Линия №223	92,5	68,3	62,5	74,4	5,0	4,5	5,0	4,8
НСР ₀₅	-	-	-	9,7	-	-	-	-
Коэффициент корреляции $r=$					-	0,5	-	0,2

Приложение Б.6 – Оценка устойчивости сортов яровой мягкой пшеницы к основным грибным болезням в 2022–2024 гг.

Название	Устойчивость к грибным болезням, балл								
	бурая ржавчина			мучнистая роса				стеблевая ржавчина	септориоз листьев
	2023 г.	2024 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	2024 г.	2024 г.
Злата (st)	9,0	3,0	6,0	5,0	5,0	9,0	6,3	5,0	7,0
Саратовская 74	9,0	3,0	6,0	7,0	9,0	9,0	8,3	5,0	7,0
Агата	5,0	3,0	4,0	7,0	9,0	7,0	7,7	5,0	9,0
Тулайковская 108	7,0	7,0	7,0	5,0	9,0	5,0	6,3	7,0	9,0
Симбирцит	9,0	3,0	6,0	9,0	7,0	9,0	8,3	5,0	9,0
Тюменская 29	9,0	3,0	6,0	9,0	7,0	5,0	7,0	5,0	9,0
Обская 2	9,0	3,0	6,0	7,0	5,0	5,0	5,7	3,0	9,0
Тобольская	9,0	1,0	5,0	5,0	5,0	9,0	6,3	3,0	9,0
Алтайская Жница	7,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	3,0	6,0
Маргарита	7,0	3,0	5,0	5,0	7,0	9,0	7,0	3,0	7,0
Учитель	9,0	1,0	5,0	3,0	3,0	9,0	5,0	3,0	7,0
Фаворит	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	9,0	7,7	7,0	7,0
Гранни	9,0	3,0	6,0	5,0	5,0	9,0	6,3	5,0	9,0
Тризо	7,0	3,0	5,0	5,0	5,0	9,0	6,3	5,0	7,0
Ирень	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	9,0
Бомбона	3,0	3,0	3,0	9,0	3,0	9,0	7,0	3,0	9,0
Ласка	7,0	5,0	6,0	9,0	7,0	9,0	8,3	5,0	9,0
Арабелла	5,0	3,0	4,0	9,0	9,0	7,0	8,3	3,0	9,0
Гранова	7,0	5,0	6,0	5,0	9,0	7,0	7,0	7,0	9,0
Мандарина	5,0	3,0	4,0	9,0	9,0	7,0	8,3	3,0	7,0
Канюк	9,0	5,0	7,0	7,0	5,0	7,0	6,3	9,0	7,0
Л-57	5,0	5,0	5,0	5,0	9,0	9,0	7,7	5,0	9,0
Золушка	9,0	5,0	7,0	1,0	1,0	3,0	1,7	5,0	9,0

Приложение Б.7 – Оценка устойчивости линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ к основным грибным болезням в 2022–2024 гг.

Название	Устойчивость к грибным болезням, балл								
	бурая ржавчина			мучнистая роса				стеблевая ржавчина	септориоз листьев
	2023 г.	2024 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	2024 г.	2024 г.
Злата (st)	9,0	3,0	6,0	5,0	5,0	9,0	6,3	5,0	9,0
Линия №23	9,0	9,0	9,0	7,0	7,0	9,0	7,7	9,0	7,0
Линия №35	9,0	9,0	9,0	3,0	3,0	5,0	3,7	9,0	7,0
Линия №59	9,0	7,0	8,0	5,0	7,0	7,0	6,3	9,0	9,0
Линия №65	9,0	9,0	9,0	9,0	5,0	9,0	7,7	9,0	9,0
Линия №66	9,0	7,0	8,0	3,0	1,0	5,0	3,0	7,0	9,0
Линия №67	9,0	9,0	9,0	5,0	3,0	5,0	4,3	9,0	9,0
Линия №70	9,0	7,0	8,0	9,0	9,0	7,0	8,3	1,0	9,0
Линия №79	9,0	5,0	7,0	3,0	3,0	5,0	3,7	3,0	9,0
Линия №147	9,0	7,0	8,0	5,0	3,0	5,0	4,3	7,0	6,0
Линия №150	9,0	3,0	6,0	7,0	3,0	3,0	4,3	1,0	7,0
Линия №151	9,0	7,0	8,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	7,0
Линия №152	9,0	5,0	7,0	3,0	1,0	5,0	3,0	5,0	7,0
Линия №153	9,0	5,0	7,0	5,0	3,0	5,0	4,3	5,0	9,0
Линия №178	9,0	5,0	7,0	7,0	5,0	5,0	5,7	3,0	7,0
Линия №187	9,0	5,0	7,0	7,0	3,0	7,0	5,7	9,0	9,0
Линия №215	9,0	7,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	9,0
Линия №217	9,0	5,0	7,0	3,0	3,0	5,0	3,7	5,0	9,0
Линия №220	9,0	3,0	6,0	9,0	5,0	5,0	6,3	3,0	9,0
Линия №221	9,0	7,0	8,0	7,0	3,0	7,0	5,7	9,0	9,0
Линия №223	9,0	7,0	8,0	5,0	3,0	3,0	3,6	7,0	7,0

Приложение В.1 – Урожайность и основные элементы структуры урожая сортов яровой мягкой пшеницы в 2022–2024 гг.

Название	Урожайность, г/м ² ,				Число зерен с главного колоса, шт.				Масса зерна с главного колоса, г			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее
Злата (st)	423,0	272,1	308,7	334,6	30,0	28,0	20,4	26,1	1,2	1,4	0,7	1,1
Саратовская 74	426,2	288,7	231,9	315,6	28,7	28,5	21,6	26,3	1,3	1,4	0,8	1,2
Агата	415,6	270,7	189,5	291,9	39,0	32,5	21,8	31,1	1,5	1,4	0,7	1,2
Тулайковская 108	294,4	252,1	365,5	304,0	24,0	24,4	24,0	24,1	1,0	1,2	1,0	1,1
Симбирцит	483,5	269,0	313,6	355,4	29,3	23,8	21,4	24,8	1,3	1,2	0,8	1,1
Тюменская 29	434,3	232,1	277,9	314,8	29,0	26,8	21,9	25,9	1,2	1,3	0,8	1,1
Обская 2	469,3	258,9	397,5	375,2	30,0	25,6	25,4	27,0	1,5	1,3	1,0	1,3
Тобольская	497,4	315,8	273,6	362,3	27,7	25,0	24,7	25,8	1,3	1,2	0,8	1,1
Алтайская Жница	417,4	267,7	336,5	340,5	26,7	25,5	24,4	25,5	1,3	1,2	0,9	1,1
Маргарита	717,0	353,7	252,8	441,2	37,0	26,0	21,0	28,0	1,7	1,4	0,8	1,3
Учитель	466,4	219,4	164,6	283,5	35,7	24,8	21,8	27,4	1,7	1,2	0,8	1,2
Фаворит	498,8	201,4	205,3	301,8	34,7	25,3	24,0	28,0	1,5	1,1	0,8	1,1
Гранни	500,7	282,0	198,7	327,1	33,0	30,3	21,4	28,2	1,5	1,5	0,8	1,3
Тризо	431,4	276,8	227,5	311,9	31,3	25,4	22,5	26,4	1,3	1,6	0,7	1,2
Ирень	440,4	256,1	252,9	316,5	31,0	24,0	21,7	25,6	1,3	1,0	0,8	1,0
Бомбона	392,2	228,1	217,3	279,2	37,7	31,3	21,9	30,3	1,5	1,4	0,7	1,2
Л-57	324,5	236,6	208,4	256,5	32,0	32,1	26,9	30,3	1,1	1,2	0,9	1,1
Ласка	527,0	255,1	274,7	352,3	38,7	30,4	23,6	30,9	1,6	1,3	0,7	1,2
Арабелла	455,1	282,7	349,9	362,6	25,7	26,7	24,5	25,6	0,9	1,3	0,8	1,0
Гранова	442,1	193,3	231,4	288,9	34,0	17,0	22,8	24,6	1,5	0,9	0,8	1,1
Мандарина	584,8	274,4	287,8	382,3	43,0	30,0	26,0	33,0	1,6	1,3	0,8	1,2
Золушка	284,2	130,5	161,8	192,2	28,7	22,2	19,2	23,4	1,0	0,9	0,5	0,8
Канюк	467,7	253,6	243,8	321,7	31,3	24,9	24,5	26,9	1,4	1,5	0,9	1,3
НСР ₀₅	139,9	52,9	58,8	95,9	5,8	6,7	5,9	5,3	0,29	0,4	0,3	0,3
коэффициент корреляции с урожайностью (r)					0,506*	0,310	0,404	0,169	0,691**	0,615**	0,579**	0,530*

Приложение В.2 – Урожайность и основные элементы структуры урожая линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ в 2022–2024 гг.

Название	Урожайность, г/м ² ,				Число зерен с главного колоса, шт.				Масса зерна с главного колоса, г			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее
Злата (st)	423,0	272,1	308,7	334,6	30,0	28,0	20,4	26,1	1,2	1,4	0,7	1,1
Линия №23	435,9	236,3	237,4	303,2	27,3	28,2	24,3	26,6	1,3	1,3	1,0	1,2
Линия №35	394,6	182,4	229,0	268,7	26,3	29,3	26,4	27,3	1,2	1,5	1,0	1,2
Линия №59	395,6	173,3	280,1	283,0	26,0	21,2	20,6	22,6	1,0	1,0	0,7	0,9
Линия №65	388,4	181,2	146,0	238,5	24,0	16,4	14,6	18,3	1,3	1,1	0,6	1,0
Линия №66	443,8	207,3	182,2	277,8	30,0	29,0	21,1	26,7	1,2	1,4	0,7	1,1
Линия №67	427,7	169,5	155,2	250,8	31,0	33,9	24,9	29,9	1,5	1,6	0,8	1,3
Линия №70	387,9	219,6	249,5	285,7	33,0	28,8	28,0	29,9	1,4	1,4	1,0	1,3
Линия №79	426,4	171,8	261,3	286,5	34,7	28,2	31,6	31,5	1,5	1,2	1,1	1,3
Линия №147	438,9	214,3	257,2	303,5	33,0	27,8	29,2	30,0	1,4	1,3	1,0	1,2
Линия №150	357,7	172,3	251,3	260,4	31,7	24,2	25,5	27,1	1,3	1,1	0,8	1,1
Линия №151	389,8	148,3	261,6	266,6	26,7	21,9	24,1	24,2	1,2	1,1	0,9	1,1
Линия №152	400,8	171,5	185,4	252,6	37,0	17,8	22,2	25,7	1,6	1,2	0,8	1,2
Линия №153	370,6	197,2	272,0	279,9	29,0	23,8	29,6	27,5	1,6	1,2	1,2	1,3
Линия №178	442,3	206,0	310,2	319,5	38,0	31,9	32,0	34,0	1,6	1,3	1,2	1,4
Линия №187	402,7	212,4	183,5	266,2	34,3	36,7	23,0	31,3	1,5	2,0	0,8	1,4
Линия №215	409,0	236,2	210,7	285,3	30,3	31,6	16,0	26,0	1,3	1,7	0,6	1,2
Линия №217	430,5	214,0	223,6	289,4	30,7	20,9	20,0	23,9	1,5	1,1	0,8	1,1
Линия №220	352,3	262,8	156,1	257,1	30,7	29,4	20,5	26,9	1,2	1,3	0,7	1,1
Линия №221	361,6	227,8	176,8	255,4	29,3	27,1	15,5	24,0	1,2	1,2	0,5	1,0
Линия №223	445,6	310,7	261,3	339,2	38,7	34,0	21,6	31,4	1,6	1,6	0,8	1,3
НСР ₀₅	74,0	36,0	73,7	60,9	6,1	6,8	7,9	8,9	0,4	0,4	0,5	0,6
коэффициент корреляции с урожайностью (r)					0,370	0,469*	0,548*	0,465*	0,337	0,393	0,568**	0,300

Приложение В.3 – Характеристика физических свойств зерна сортов яровой мягкой пшеницы в 2022–2024 гг.

Название	Масса 1000 г				Натура, г/л				Стекловидность, %			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее
Злата (st)	41,3	46,1	37,9	41,8	810,8	788,3	799,0	799,3	40,4	88,1	39,3	55,9
Саратовская 74	46,2	45,8	37,7	43,2	817,9	776,0	776,0	790,0	84,3	98,8	65,1	82,7
Агата	39,5	44,0	33,8	39,1	803,7	787,0	748,0	779,6	55,6	68,9	27,1	50,5
Тулайковская 108	44,6	45,6	36,6	42,3	809,9	791,5	763,3	788,2	64,2	93,8	35,1	64,4
Симбирцит	46,1	49,6	39,2	45,0	819,5	766,2	776,7	787,5	53,3	72,4	28,2	51,3
Тюменская 29	41,0	44,8	34,1	40,0	822,1	791,0	776,3	796,5	60,4	58,7	27,3	48,8
Обская 2	46,4	52,0	38,4	45,6	806,3	777,0	754,3	779,2	57,8	84,4	35,1	59,1
Тобольская	44,7	46,2	34,0	41,6	824,3	790,7	788,0	801,0	54,9	71,4	57,0	61,1
Алтайская Жница	45,8	46,7	37,8	43,4	811,1	792,3	764,3	789,2	55,3	96,0	29,7	60,3
Маргарита	49,9	50,8	37,8	46,2	815,2	785,0	773,0	791,1	37,8	60,1	20,6	39,5
Учитель	45,0	46,8	33,8	41,9	813,9	773,8	760,0	782,6	63,6	78,4	44,3	62,1
Фаворит	40,4	37,6	31,2	36,4	822,0	794,7	769,3	795,3	45,6	73,0	33,4	50,7
Гранни	44,4	48,2	35,7	42,8	815,3	776,7	774,3	788,8	36,9	55,9	20,3	37,7
Тризо	40,4	44,6	31,5	38,8	816,8	793,3	780,0	796,7	43,8	79,1	29,8	50,9
Ирень	40,1	43,4	32,6	38,7	813,7	781,9	778,0	791,2	66,1	93,1	51,4	70,2
Бомбона	39,6	44,4	31,2	38,4	824,3	791,5	748,3	788,0	60,7	68,7	31,8	53,7
Л-57	36,7	42,6	30,6	36,6	783,8	796,0	722,3	767,4	60,7	86,2	28,0	58,3
Ласка	40,7	47,8	30,5	39,7	810,6	784,5	740,7	778,6	43,0	74,4	20,1	45,8
Арабелла	39,0	46,3	33,0	39,4	800,9	784,5	753,3	779,6	42,7	75,9	22,1	46,9
Гранова	46,1	46,8	35,7	42,9	813,2	791,5	745,7	783,5	40,8	80,1	18,3	46,4
Мандарина	38,2	41,4	31,9	37,2	819,0	783,5	750,0	784,2	50,8	65,3	29,9	48,7
Золушка	35,8	35,9	27,9	33,2	833,3	816,5	798,3	816,0	37,3	38,3	39,9	38,5
Канюк	45,6	48,3	37,5	43,8	805,4	790,0	739,3	778,2	60,0	50,8	21,4	44,1
НСР ₀₅	2,0	1,8	2,5	1,8	13,3	17,9	21,6	19,2	17,8	7,7	10,4	37,6

Приложение В.4 – Содержание белка и клейковины в зерне сортов яровой мягкой пшеницы в 2022–2024 гг.

Название	Содержание белка в зерне, %				Группа качество	Содержание клейковины в зерне, %				Группа качество
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее		2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	
Злата (st)	12,2	14,0	14,5	13,6	ценная	20,1	23,5	25,1	22,9	филлер
Саратовская 74	12,9	12,7	13,3	13,0	ценная	21,6	20,7	22,6	21,6	филлер
Агата	12,7	12,8	13,9	13,1	ценная	20,7	20,1	24,8	21,9	филлер
Тулайковская 108	13,5	12,9	13,3	13,2	ценная	21,7	20,6	23,8	22,0	филлер
Симбирцит	12,3	12,6	13,0	12,6	филлер	19,9	21,2	22,3	21,1	филлер
Тюменская 29	13,2	14,0	14,4	13,9	ценная	21,6	22,8	25,9	23,4	филлер
Обская 2	12,1	12,2	12,7	12,3	филлер	19,4	19,6	22,1	20,4	филлер
Тобольская	11,7	12,1	13,4	12,4	филлер	18,2	19,7	22,6	20,2	филлер
Алтайская Жница	12,9	13,7	13,3	13,3	ценная	20,2	21,6	23,8	21,9	филлер
Маргарита	11,7	12,0	11,3	11,7	филлер	18,8	19,3	17,1	18,4	филлер
Учитель	12,7	13,6	12,3	12,9	филлер	20,9	21,7	19,4	20,7	филлер
Фаворит	11,7	13,0	12,8	12,5	ценная	19,3	21,3	22,2	20,9	филлер
Гранни	11,1	13,0	12,8	12,3	филлер	18,0	21,0	21,9	20,3	филлер
Тризо	11,8	13,7	14,1	13,2	ценная	19,9	23,0	25,7	22,9	филлер
Ирень	14,3	16,2	15,6	15,4	сильная	24,3	27,9	29,5	27,2	ценная
Бомбона	12,7	14,8	13,2	13,6	ценная	21,5	24,7	24,4	23,5	филлер
Л-57	13,7	14,5	14,3	14,2	сильная	23,2	24,6	27,0	24,9	ценная
Ласка	11,2	13,2	12,7	12,4	филлер	18,6	22,3	22,2	21,0	филлер
Арабелла	11,6	13,3	13,1	12,7	филлер	18,8	22,4	22,8	21,3	филлер
Гранова	11,6	13,7	13,1	12,8	филлер	18,9	23,5	23,0	21,8	филлер
Мандарина	11,3	12,7	13,5	12,5	филлер	18,6	21,3	23,2	21,0	филлер
Золушка	14,2	14,0	15,4	14,5	сильная	24,1	28,0	28,7	26,9	ценная
Канюк	11,4	12,7	12,6	12,2	филлер	18,4	20,3	20,7	19,8	филлер
НСР ₀₅	0,4	0,5	0,8	1,1	—	0,9	1,7	3,9	3,3	—

***Примечание. В условиях ЦРНЗ**

Приложение В.5 – Характеристика физических свойств зерна линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ в 2022–2024 гг.

Название	Масса 1000 г				Натура, г/л.				Стекловидность, %			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее
Злата (st)	41,3	46,1	37,9	41,8	810,8	788,3	799,0	799,3	40,4	88,1	39,3	55,9
Линия №23	45,6	47,1	35,7	42,8	806,2	802,5	785,3	798,0	65,0	77,1	71,3	71,1
Линия №35	47,5	52,3	38,8	46,2	829,8	783,0	758,0	790,3	66,1	82,6	66,8	71,8
Линия №59	42,7	42,7	35,6	40,3	770,2	711,5	773,3	751,7	77,1	91,9	71,1	80,0
Линия №65	50,5	42,2	40,0	44,2	828,8	801,5	716,7	782,3	60,3	71,9	46,2	59,5
Линия №66	43,4	45,8	33,9	41,0	837,1	752,5	766,7	785,4	61,6	98,3	44,8	68,2
Линия №67	45,1	42,2	32,5	39,9	833,5	796,2	795,3	808,3	76,5	87,8	61,0	75,1
Линия №70	41,7	43,6	33,4	39,6	828,4	790,0	772,7	797,0	43,3	84,6	36,6	54,8
Линия №79	44,0	44,1	34,5	40,9	807,6	773,8	784,3	788,6	56,2	91,9	30,9	59,7
Линия №147	43,5	44,3	33,9	40,6	783,9	723,2	802,3	769,8	56,6	96,6	41,2	64,8
Линия №150	41,8	42,3	33,6	39,2	780,3	721,7	770,0	757,3	64,6	92,8	64,6	74,0
Линия №151	44,9	45,6	38,1	42,9	814,8	781,0	765,0	786,9	65,3	87,6	56,6	69,8
Линия №152	44,2	46,5	33,8	41,5	828,4	810,0	767,3	801,9	58,5	92,7	33,6	61,6
Линия №153	47,0	47,6	38,1	44,2	813,3	772,2	806,3	797,3	57,8	97,2	52,7	69,2
Линия №178	41,2	40,9	34,4	38,8	786,3	766,5	775,0	775,9	71,6	81,0	80,9	77,8
Линия №187	43,2	47,0	35,7	42,0	834,7	829,2	735,3	799,7	47,0	60,7	13,0	40,2
Линия №215	42,7	47,4	34,9	41,7	815,6	780,7	802,3	799,5	56,6	83,2	37,4	59,1
Линия №217	52,7	51,3	40,3	48,1	785,3	767,7	772,7	775,2	63,7	95,8	43,3	67,6
Линия №220	37,8	43,6	31,1	37,5	794,1	779,7	760,0	777,9	60,8	96,6	38,8	65,4
Линия №221	38,6	42,2	30,7	37,2	785,0	787,0	774,0	782,0	69,3	68,1	37,4	58,3
Линия №223	39,3	45,8	34,9	40,0	818,3	806,5	762,7	795,8	46,8	62,6	18,7	42,7
НСР ₀₅	1,5	1,6	2,5	1,8	11,2	26,4	13,6	9,7	12,2	5,7	16,1	11,4

Приложение В.6 – Содержание белка и клейковины в зерне линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ в 2022–2024 гг.

Название	Содержание белка в зерне, %				Группа качество	Содержание клейковины в зерне, %				Группа качество
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее		2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	
Злата (st)	12,2	14,0	14,5	13,6	ценная	20,1	23,5	25,1	22,9	филлер
Линия №23	13,7	15,3	15,1	14,7	сильная	22,9	24,8	28,3	25,3	ценная
Линия №35	13,4	14,6	14,2	14,1	сильная	21,8	24,0	24,6	23,5	филлер
Линия №59	15,0	17,1	15,7	15,9	сильная	25,7	29,9	30,5	28,7	сильная
Линия №65	14,5	16,4	14,7	15,2	сильная	24,4	28,7	28,0	27,0	ценная
Линия №66	12,7	14,5	12,9	13,4	ценная	20,8	24,9	20,5	22,1	филлер
Линия №67	14,9	16,6	14,9	15,5	сильная	26,5	28,5	28,0	27,7	ценная
Линия №70	12,7	15,3	15,0	14,3	сильная	20,3	26,8	28,3	25,1	ценная
Линия №79	12,4	14,5	12,4	13,1	ценная	20,5	24,5	20,0	21,7	филлер
Линия №147	12,7	15,6	13,4	13,9	сильная	20,8	25,8	22,4	23,0	филлер
Линия №150	13,4	16,1	15,2	14,9	сильная	22,7	27,8	27,3	25,9	ценная
Линия №151	15,5	17,9	15,4	16,3	сильная	26,9	31,6	30,1	29,5	сильная
Линия №152	12,0	14,5	15,0	13,8	ценная	19,8	25,0	28,6	24,5	филлер
Линия №153	13,0	15,9	15,1	14,7	сильная	22,2	27,6	28,0	25,9	ценная
Линия №178	13,8	15,6	15,2	14,9	сильная	24,0	26,3	27,6	26,0	ценная
Линия №187	12,0	13,8	14,8	13,5	ценная	19,4	23,7	27,0	23,4	филлер
Линия №215	12,8	15,1	14,4	14,1	сильная	21,5	25,5	25,2	24,1	филлер
Линия №217	12,2	13,1	12,7	12,7	филлер	20,4	21,4	21,1	21,0	филлер
Линия №220	12,6	15,5	16,2	14,8	сильная	20,7	27,7	31,7	26,7	ценная
Линия №221	13,9	16,9	15,7	15,5	сильная	23,2	30,0	30,0	27,7	ценная
Линия №223	12,3	14,5	15,2	14,0	сильная	19,7	24,2	28,7	24,2	филлер
НСР ₀₅	0,34	0,45	0,54	1,3	—	1,64	1,54	1,64	3,35	—

***Примечание. В условиях ЦРНЗ**

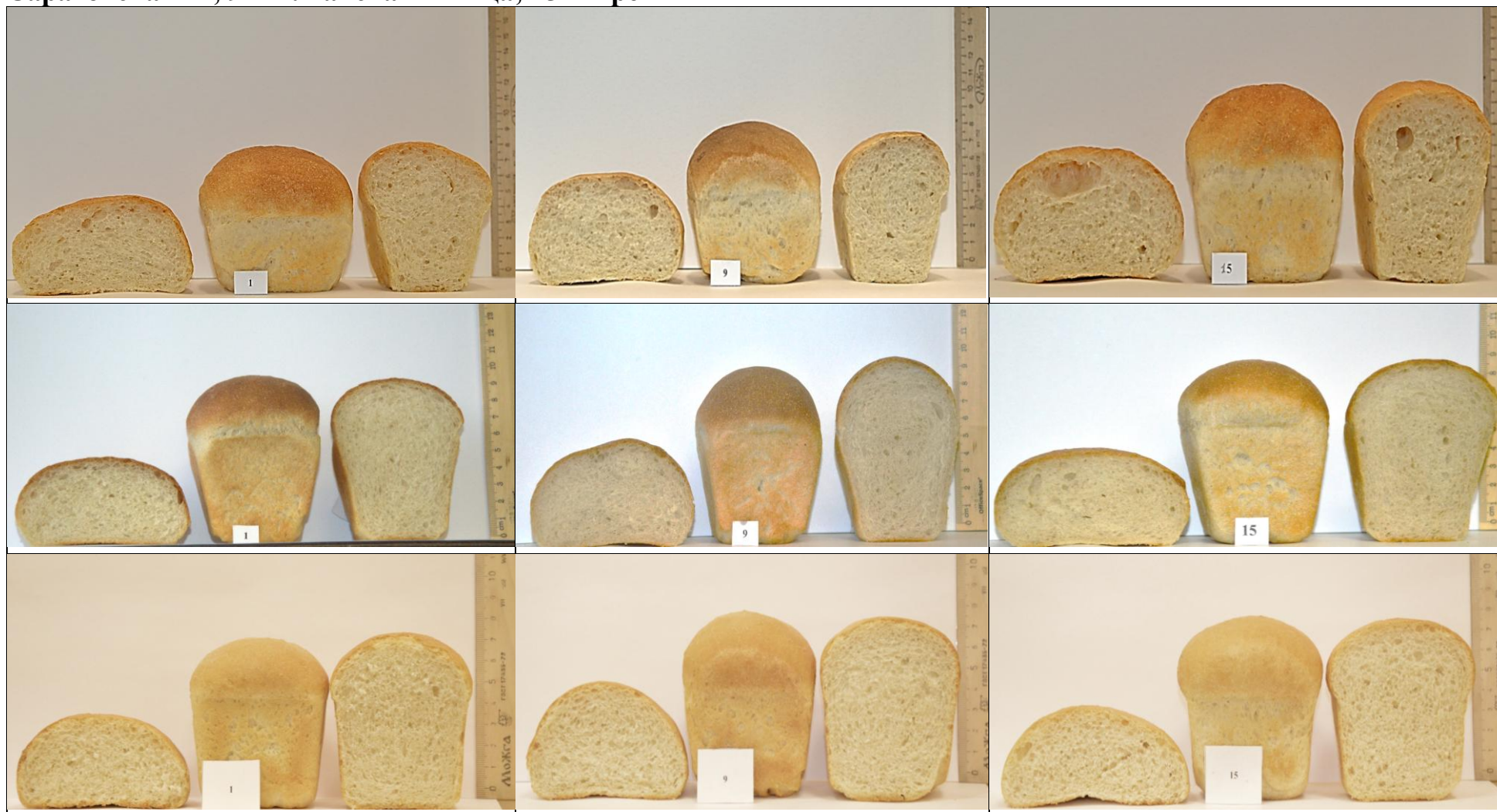
Приложение В.7 – Характеристика показателей лабораторной выпечки сортов яровой мягкой пшеницы в 2022–2024 гг.

Название	Выход муки, %				Объемный выход хлеба, см ³				Общая хлебопекарная оценка, балл			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее
Злата (st)	70,4	72,5	57,4	66,8	675,0	510,0	487,5	557,5	4,6	4,8	4,2	4,5
Саратовская 74	74,6	68,2	60,1	67,6	650,0	505,0	470,0	541,7	4,5	4,9	3,9	4,4
Агата	73,3	72,2	55,6	67,0	825,0	525,0	460,0	603,3	4,5	4,9	3,7	4,4
Тулайковская 108	70,8	69,8	54,1	64,9	685,0	470,0	597,5	584,2	4,5	4,7	4,5	4,6
Симбирцит	70,7	67,3	55,9	64,6	605,0	450,0	422,5	492,5	4,5	4,7	3,5	4,2
Тюменская 29	70,5	68,8	60,0	66,4	705,0	475,0	430,0	536,7	4,4	4,8	3,9	4,4
Обская 2	69,9	65,6	54,6	63,4	640,0	445,0	442,5	509,2	4,5	4,7	3,6	4,3
Тобольская	72,0	72,4	59,6	68,0	657,5	450,0	412,5	506,7	4,5	4,8	4,0	4,4
Алтайская Жница	70,4	68,8	58,8	66,0	762,5	480,0	510,0	584,2	4,7	4,8	4,4	4,6
Маргарита	72,1	68,0	60,6	66,9	617,5	440,0	360,0	472,5	4,3	4,5	2,9	3,9
Учитель	72,7	69,4	60,3	67,5	617,5	460,0	337,5	471,7	4,2	4,6	2,9	3,9
Фаворит	72,3	69,9	63,6	68,6	742,5	545,0	422,5	570,0	4,7	4,8	3,6	4,4
Гранни	72,3	69,3	63,0	68,2	502,5	440,0	317,5	420,0	3,9	4,4	2,7	3,7
Тризо	71,3	72,7	62,0	68,7	630,0	550,0	520,0	566,7	4,3	4,9	4,2	4,5
Ирень	70,0	69,5	63,8	67,8	710,0	520,0	517,5	582,5	4,8	4,8	4,3	4,6
Бомбона	70,6	67,4	61,3	66,4	657,5	565,0	465,0	562,5	4,2	4,8	3,9	4,3
Л-57	70,1	68,8	55,9	64,9	675,0	540,0	497,5	570,8	4,5	4,8	3,9	4,4
Ласка	71,5	70,8	62,4	68,2	727,5	540,0	460,0	575,8	4,6	4,8	3,7	4,4
Арабелла	70,4	69,6	59,4	66,5	620,0	530,0	495,0	548,3	4,4	4,8	4,0	4,4
Гранова	67,8	66,7	61,3	65,3	527,5	455,0	332,5	438,3	3,9	4,2	3,2	3,8
Мандарина	73,5	71,7	65,1	70,1	607,5	530,0	415,0	517,5	4,1	4,7	3,6	4,1
Золушка	72,7	67,5	65,0	68,4	510,0	620,0	557,5	562,5	4,4	4,1	4,9	4,5
Канюк	69,7	69,4	55,7	64,9	705,0	530,0	415,0	550,0	4,4	4,9	4,1	4,5
НСР ₀₅	–	–	–	4,4	73,5	33,3	42,6	65,4	–	–	–	0,57

Приложение В.8 – Характеристика показателей лабораторной выпечки линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ в 2022–2024 гг.

Название	Выход муки, %				Объемный выход хлеба, см ³				Общая хлебопекарная оценка, балл			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее
Злата (st)	70,4	72,5	57,4	66,8	675,0	510,0	487,5	557,5	4,6	4,8	4,2	4,5
Линия №23	69,3	69,3	53,7	64,1	670,0	570,0	627,5	622,5	4,6	4,5	4,3	4,5
Линия №35	71,1	70,0	57,2	66,1	710,0	590,0	535,0	611,7	4,8	4,1	4,2	4,4
Линия №59	71,3	66,8	53,6	63,9	900,0	630,0	562,5	697,5	4,8	4,8	4,2	4,6
Линия №65	66,5	60,3	63,1	63,3	350,0	350,0	395,0	365,0	3,4	3,2	3,3	3,3
Линия №66	74,6	72,7	57,4	68,2	707,5	540,0	435,0	560,8	4,7	4,8	3,8	4,4
Линия №67	70,7	65,5	55,0	63,7	920,0	635,0	482,5	679,2	4,9	4,8	4,3	4,7
Линия №70	68,2	64,9	62,5	65,2	622,5	560,0	442,5	541,7	4,0	4,6	3,5	4,0
Линия №79	68,0	65,1	57,0	63,4	632,5	545,0	462,5	546,7	4,6	4,6	4,2	4,5
Линия №147	68,7	67,1	60,2	65,3	580,0	470,0	360,0	470,0	4,0	4,3	3,6	4,0
Линия №150	70,2	67,0	58,3	65,2	677,5	590,0	515,0	594,2	4,2	4,9	3,8	4,3
Линия №151	71,0	64,6	66,4	67,3	712,5	610,0	512,5	611,7	4,5	4,6	3,6	4,2
Линия №152	74,3	69,9	59,5	67,9	612,5	635,0	515,0	587,5	4,4	4,7	4,1	4,4
Линия №153	71,5	67,6	62,9	67,3	575,0	535,0	540,0	550,0	4,3	4,6	4,3	4,4
Линия №178	70,0	66,7	56,5	64,4	695,0	620,0	492,5	602,5	4,7	4,8	4,0	4,5
Линия №187	69,1	66,7	58,5	64,8	542,5	555,0	480,0	525,8	4,4	4,4	3,9	4,2
Линия №215	70,1	68,4	61,9	66,8	492,5	510,0	412,5	471,7	4,1	4,4	3,4	4,0
Линия №217	70,2	67,4	61,4	66,3	580,0	570,0	480,0	543,3	4,6	4,7	3,6	4,3
Линия №220	69,7	67,8	61,4	66,3	625,0	520,0	515,0	553,3	4,7	4,4	4,1	4,4
Линия №221	67,5	66,0	60,0	64,5	645,0	530,0	482,5	552,5	4,5	4,7	4,3	4,5
Линия №223	71,6	71,1	69,7	70,8	520,0	530,0	492,5	514,2	4,3	4,6	4,3	4,4
НСР ₀₅	—	—	—	4,4	54,6	34,1	15,7	41,5	—	—	—	0,47

Приложение Г.1 – Результаты лабораторной выпечки сортов яровой мягкой пшеницы в 2022–2024 гг. 1 – Саратовская 74; 9 – Алтайская Жница; 15 – Ирень



***Примечание. Верхний ряд – 2022 г.; средний ряд – 2023 г.; нижний ряд – 2024 г. Образцы расположены слева направо: Саратовская 74, Алтайская Жница, Ирень.**

Приложение Г.2 – Результаты лабораторной выпечки линий яровой мягкой пшеницы и стандартного сорта Злата (st) в 2022–2024 гг.: 27 – линия №35; 39 – линия №178; 23 – Злата (st).



***Примечание. Верхний ряд – 2022 г.; средний ряд – 2023 г.; нижний ряд – 2024 г. Образцы расположены слева направо: линия №35, линия №178, Злата (st).**

Приложение Д

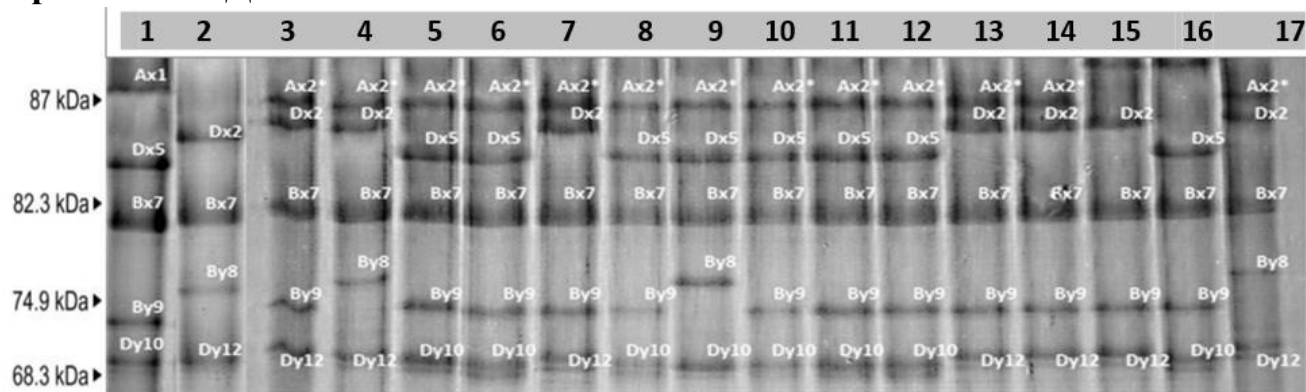


Рис. Д.1 – Результаты молекулярно-генетической идентификации высокомолекулярных субъединиц глютеина у образцов яровой мягкой пшеницы: –1. Лада, 2. Chinis Spring, 3. Саратовская 74, 4. Агата, 5. Тулайковская 108, 6. Симбирцит, 7. Тюменская 29, 8. Обская 2, 9. Злата, 10. Тобольская, 11. Алтайская Жница, 12. Маргарита, 13. Учитель, 14. Фаворит, 15. Гранни, 16. Тризо, 17. Ирень.

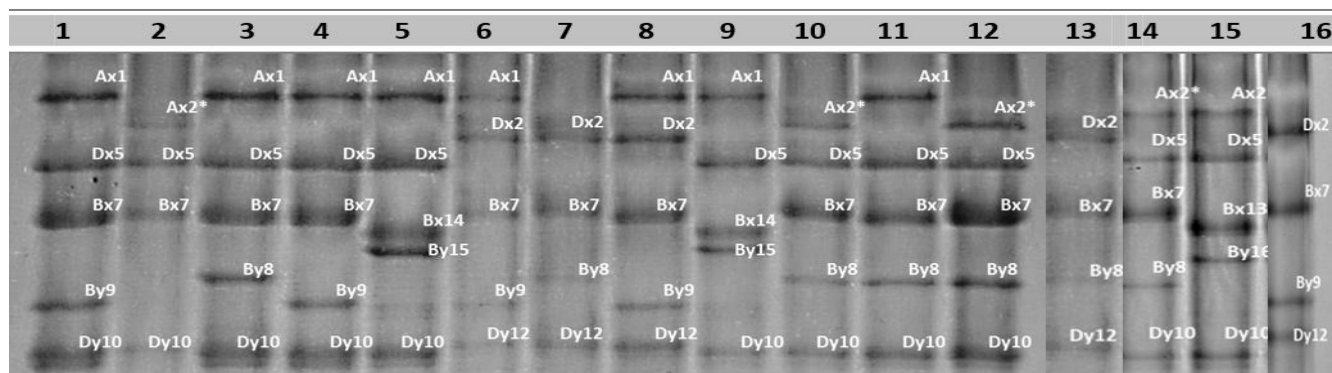


Рис. Д.2 Результаты молекулярно-генетической идентификации высокомолекулярных субъединиц глютеина у образцов яровой мягкой пшеницы: 1. Лада (st.), 2. Бомбона, 3. Л-57, 4.Ласка, 5. Арабелла, 6. Гранова, 7. Chinese Spring, 8. Мандарина, 9. Канюк, 10. Линия №23, 11. Линия №35, 12. Линия №59, 13. Золушка, 14. Линия №65, 15. Линия №66, 16. Линия №67

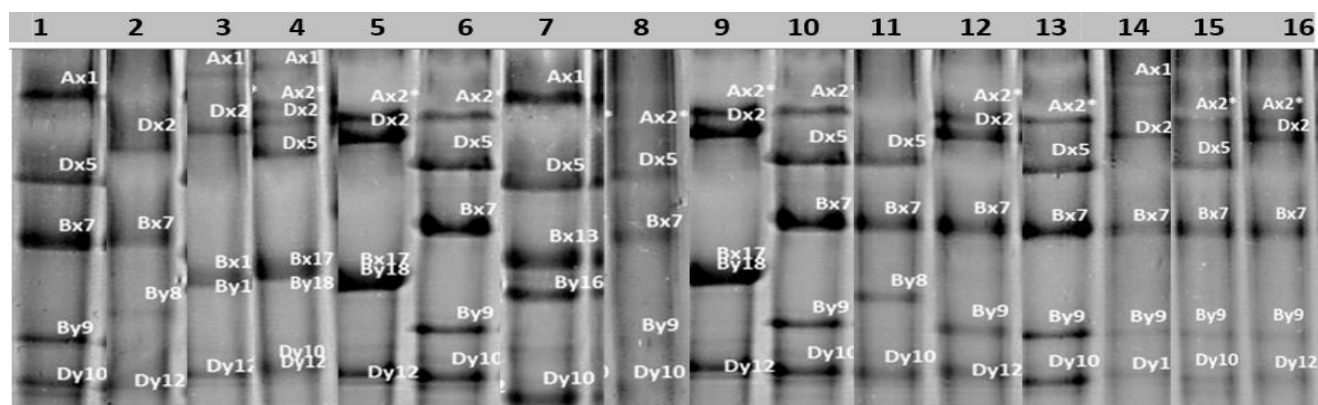


Рис. Д.3 – Результаты молекулярно-генетической идентификации высокомолекулярных субъединиц глютеина у образцов яровой мягкой пшеницы: 1. Лада (контроль), 2. Chinese Spring (контроль), 3. Линия № 70, 4. Линия №79, 5. Линия № 147, 6. Линия №150, 7. Линия №151, 8.Линия №152, 9. Линия №153, 10. Линия №178, 11. Линия №187, 12. Линия №215, 13. Линия №217, 14. Линия №220, 15. Линия №221 16. Линия №223.

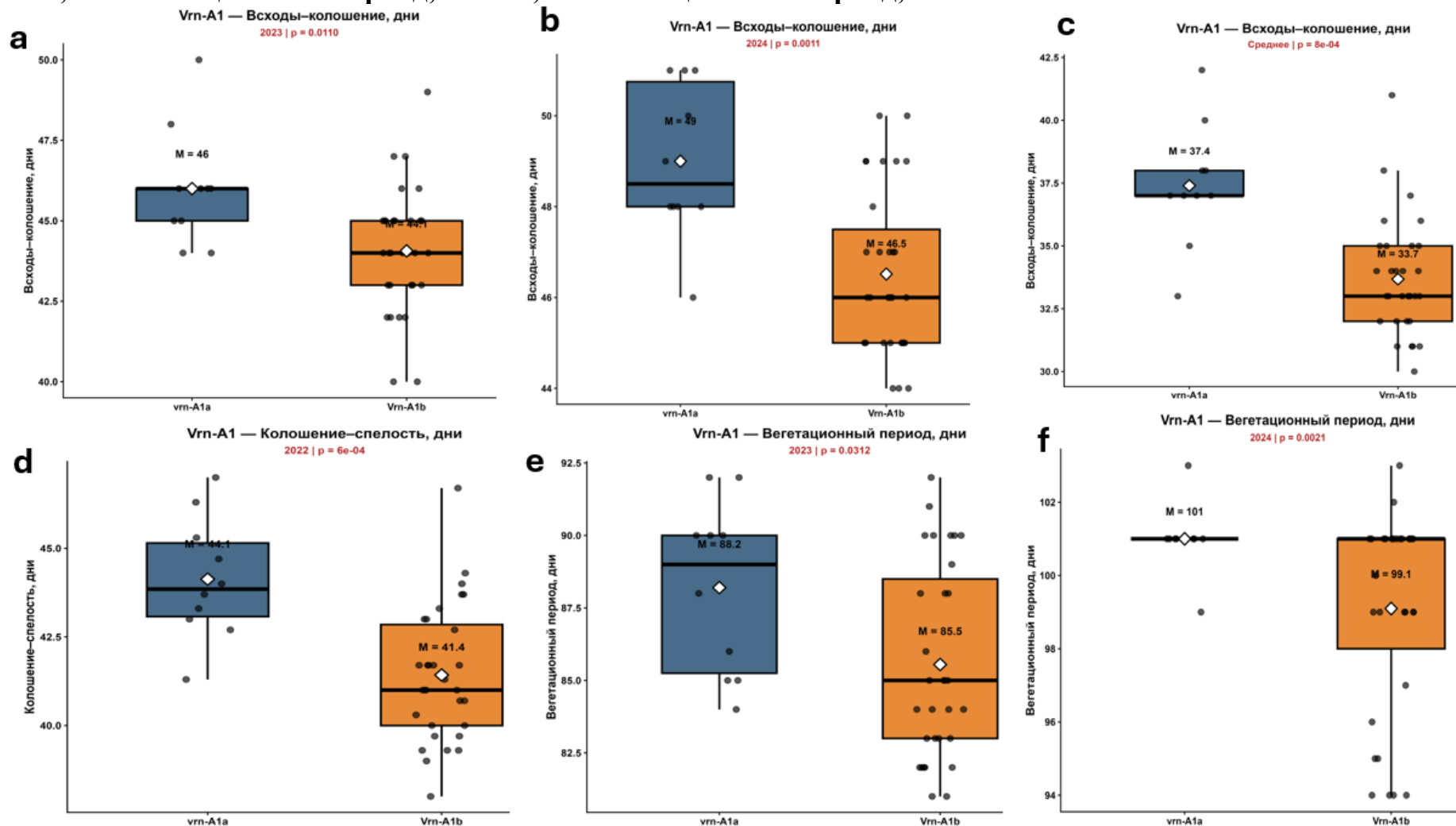
Приложение Е.1 – Результаты идентификации глютенин-кодирующих локусов *Glu-1* у образцов яровой мягкой пшеницы

№	Название	HMW GS-субъединицы			Аллель			Оценка, балл по Пейну
		<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	
1	Chinese Spring	Null	7+8	2+12	c	b	a	6
2	Лада	2*	7+9	2+12	b	c	a	7
3	Саратовская 74	2*	7+9	2+12	b	c	a	7
4	Агата	2*	7+8	2+10	b	b	a	8
5	Тулайковская 108	2*	7+9	2+12	b	c	a	7
6	Симбирцит	2*	7+9	2+12	b	c	a	7
7	Тюменская 29	2*	7+9	5+10	b	c	d	9
8	Обская 2	2*	7+9	5+10	b	c	d	9
9	Тобольская	2*	7+9	2+12	b	c	a	7
10	Злата	2*	7+8	5+10	b	b	d	10
11	Алтайская Жница	2*	7+9	5+10	b	c	d	9
12	Маргарита	2*	7+9	5+10	b	c	d	9
13	Учитель	2*	7+9	5+10	b	c	d	9
14	Фаворит	2*	7+9	5+10	b	c	d	9
15	Гранни	1	7+9	2+12	a	c	a	7
16	Тризо	1	7+9	2+12	a	c	a	7
17	Ирень	2*	7+8	2+12	b	b	a	8
18	Бомбона	2*	14+15	5+10	b	h	d	10
19	Л-57	1	7+8	5+10	a	b	d	10
20	Ласка	1	7+9	5+10	a	c	d	9
21	Арабелла	1	7+9	2+12	a	c	a	7
22	Гранова	1	7+9	2+12	a	c	a	7
23	Мандарина	1	7+9	2+12	a	c	a	7
24	Золушка	1	7+8	2+12	a	b	a	8
25	Канюк	1	14+15	5+10	a	h	d	10
26	Линия №23	2*	7+8	5+10	b	b	d	10
27	Линия №35	1	7+8	5+10	a	b	d	10

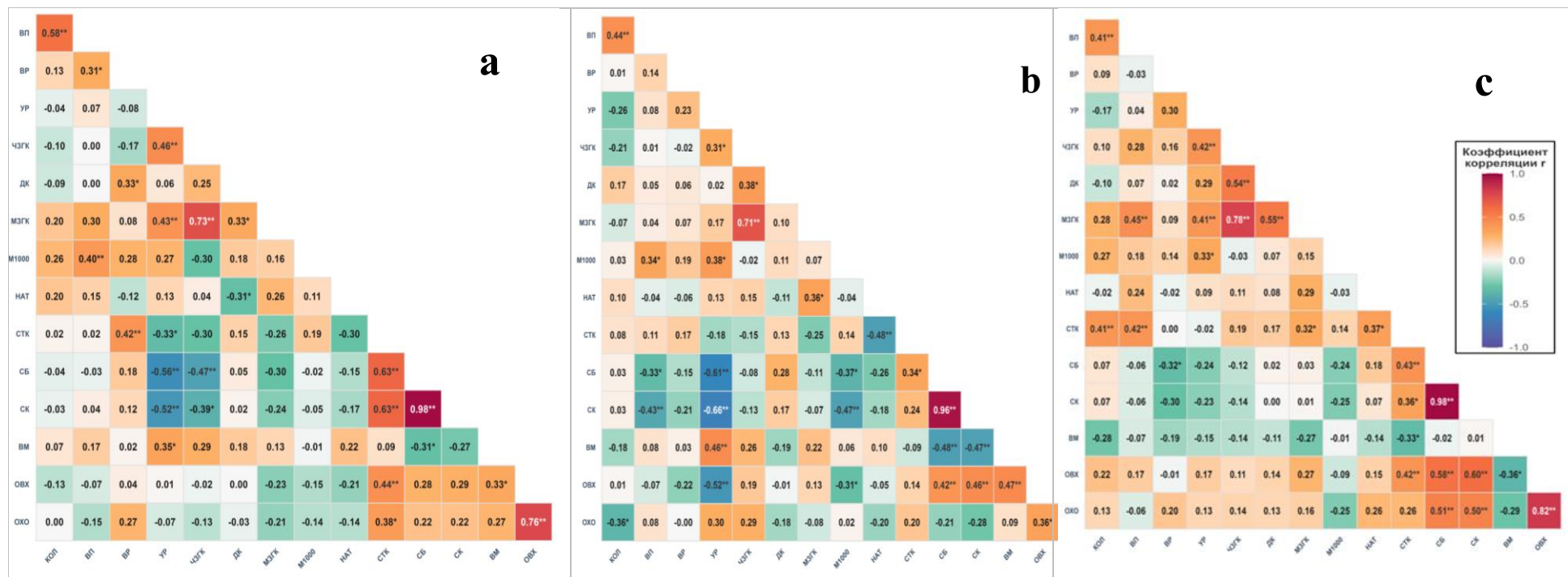
Продолжение Приложения Е.2 – Результаты идентификации глютенин-кодирующих локусов *Glu-1* у образцов яровой мягкой пшеницы

28	Линия №59	1	7+8	5+10	a	b	d	10
29	Линия №65	Null	7+9	2+12	c	c	a	5
30	Линия №66	2*	7+8	5+10	b	b	d	10
31	Линия №67	2*	13+16	5+10	b	f	d	10
32	Линия №70	1	17+18	2+12	a	i	a	8
33	Линия №79	2*	7+8	2+12	b	b	a	8
34	Линия №147	1	7+9	5+10	a	c	d	9
35	Линия №150	2*	7+9	5+10	b	c	d	9
36	Линия №151	1	13+16	5+10	a	f	d	10
37	Линия №152	2*	7+9	5+10	b	c	d	9
38	Линия №153	2*	17+18	2+12	b	i	a	8
39	Линия №178	2*	7+9	5+10	b	c	d	9
40	Линия №187	Null	7+8	5+10	c	b	d	8
41	Линия №215	2*	7+9	2+12	b	c	a	7
42	Линия №217	2*	7+9	5+10	b	c	d	9
43	Линия №220	1	7+9	2+12	a	c	a	7
44	Линия №221	2*	7+9	5+10	b	c	d	9
45	Линия №223	2*	7+9	2+12	b	c	a	7

Приложение Ж.1 Влияние аллельного состояния локуса *Vrn-A1* на продолжительность межфазных периодов и вегетационного периода яровой мягкой пшеницы: а – период «всходы–колошение», 2023 г.; б – период «всходы–колошение», 2024 г.; с – период «всходы–колошение», среднее за 2022–2024 гг.; d – период «колошение–спелость», 2022 г.; е – вегетационный период, 2023 г.; f – вегетационный период, 2024 г.



Приложение Ж 2 – Корреляционные матрицы взаимосвязей между хозяйственно ценными признаками сортов и линий яровой мягкой пшеницы по годам исследований: а – 2022 г.; б – 2023 г.; с – 2024 г.



***Примечание.** КОЛ – «всходы–колошение»; ВП – вегетационный период; ВР – высота растений; УР – урожайность; ЧЗГК – число зерен с главного колоса; ДК – длина колоса; МЗГК – масса зерна с главного колоса; М1000 – масса 1000 зерен; НАТ – натура зерна; СТК – стекловидность зерна; СБ – содержание белка в зерне; СК – содержание клейковины в зерне; ВМ – выход муки; ОБХ – объемный выход хлеба; ОХО – общая хлебопекарная оценка. Синий цвет ячейки соответствует отрицательной корреляции, красный – положительной, белый – отсутствию выраженной линейной связи. Звёздочками отмечены статистически значимые коэффициенты корреляции: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.

Приложение И.1 – Коэффициенты вариации хозяйственно ценных признаков сортов яровой мягкой пшеницы

Название	Коэффициент вариации, %									
	ВД-КОЛ	ВП	ВР	ПОЛ	БР	МР	УР	ЧЗГК	ДК	МЗГК
Злата (st)	19	9	13	6	71	30	24	19	18	33
Саратовская 74	16	10	14	6	71	8	32	15	16	27
Агата	17	11	10	0	35	5	39	28	17	36
Тулайковская 108	18	11	15	0	0	10	19	1	18	10
Симбирцит	16	12	14	0	71	4	32	16	12	24
Тюменская 29	17	12	16	27	71	14	34	14	12	24
Обская 2	17	11	16	0	71	11	29	10	14	19
Тобольская	14	9	14	6	113	10	33	6	12	24
Алтайская Жница	17	11	14	12	57	0	22	5	15	19
Маргарита	16	9	18	27	57	14	55	29	20	35
Учитель	17	7	23	25	113	20	57	27	9	38
Фаворит	16	8	25	0	0	5	57	21	14	32
Гранни	17	7	15	0	71	10	48	22	21	31
Тризо	18	10	13	6	57	10	34	17	11	38
Ирень	19	8	20	6	0	0	34	19	8	25
Бомбона	16	10	6	0	0	14	35	26	17	36
Л-57	18	9	19	6	0	0	24	10	14	14
Ласка	18	11	17	6	26	4	43	24	20	38
Арабелла	18	6	8	12	35	4	24	4	24	26
Гранова	18	9	14	0	24	14	46	35	10	34
Мандарина	16	10	18	6	35	4	46	27	18	34
Канюк	16	10	19	6	40	0	39	14	19	33
Золушка	16	7	10	0	40	55	42	21	17	25

***Примечание.** Значения коэффициента вариации приведены в процентах; знак % в таблице не указан. Расшифровка сокращений: ВД-КОЛ – период «всходы–колошение»; ВП – вегетационный период; ВР – высота растений; ПОЛ – полегание; БР – бурая ржавчина; МР – мучнистая роса; УР – урожайность; ЧЗГК – число зерен с главного колоса; ДК – длина колоса; МЗГК – масса зерна с главного колоса.

Приложение И.2 – Коэффициенты вариации хозяйственно ценных признаков линий яровой мягкой пшеницы

Название	Коэффициент вариации, %									
	ВД-КОЛ	ВП	ВР	ПОЛ	БР	МР	УР	ЧЗГК	ДК	МЗГК
Злата (st)	19	9	19	12	71	37	24	19	18	33
Линия №23	11	7	17	6	0	15	38	8	23	14
Линия №35	16	8	14	0	0	31	42	6	23	21
Линия №59	14	10	25	6	18	18	39	13	21	19
Линия №65	10	9	11	0	0	30	55	27	20	36
Линия №66	12	8	25	12	18	67	52	18	20	33
Линия №67	13	10	22	0	0	27	61	15	18	34
Линия №70	16	7	29	6	18	14	31	9	18	18
Линия №79	16	10	21	12	40	31	45	10	15	16
Линия №147	17	9	24	27	18	27	39	9	8	17
Линия №150	17	8	26	6	71	54	36	15	17	23
Линия №151	18	6	25	12	18	0	45	10	20	14
Линия №152	16	10	15	6	40	67	51	39	10	33
Линия №153	13	6	25	6	40	27	31	12	15	18
Линия №178	13	8	14	0	40	20	37	10	16	15
Линия №187	12	11	23	6	40	41	45	23	29	43
Линия №215	18	10	31	19	18	0	38	33	29	46
Линия №217	15	11	26	6	40	31	42	25	16	32
Линия №220	15	8	20	19	71	37	38	21	23	29
Линия №221	19	8	13	12	18	41	37	31	22	40
Линия №223	19	12	21	6	18	32	28	28	20	36

***Примечание.** Расшифровка сокращений: КОЛ – всходы–колошение; ВП – вегетационный период; ВР – высота растений; ПОЛ – полегание; БР – бурая ржавчина; МР – мучнистая роса; УР – урожайность; ЧЗГК – число зерен с главного колоса; ДК – длина колоса; МЗГК – масса зерна с главного колоса.

Приложение И.3 – Коэффициенты вариации хозяйственно ценных признаков сортов яровой мягкой пшеницы

Название	Коэффициент вариации, %							
	M100	НАТ	СТК	СБ	СК	ВМ	ОБХ	ОХО
Злата (st)	10	1	50	9	11	12,3	18	7
Саратовская 74	11	3	20	2	4	10,7	18	11
Агата	13	4	42	5	12	14,8	32	14
Тулайковская 108	12	3	46	2	7	14,4	19	3
Симбирцит	12	4	43	3	6	12,0	20	15
Тюменская 29	14	3	38	4	9	8,5	27	10
Обская 2	15	3	42	3	7	12,5	22	14
Тобольская	16	3	15	7	11	10,7	26	9
Алтайская Жница	11	3	55	3	8	9,5	27	5
Маргарита	16	3	50	3	6	8,7	28	22
Учитель	17	4	28	5	6	9,5	30	23
Фаворит	13	3	40	6	7	6,6	28	15
Гранни	15	3	47	8	10	7,0	22	24
Тризо	17	2	50	9	13	8,5	10	8
Ирень	14	2	30	6	10	5,1	19	6
Бомбона	17	5	36	8	8	7,1	17	11
Л-57	16	5	50	3	8	12,1	16	10
Ласка	22	5	60	8	10	7,4	24	13
Арабелла	17	3	58	7	10	9,2	12	9
Гранова	14	4	67	8	12	5,3	22	14
Мандарина	13	4	37	9	11	6,3	19	13
Канюк	13	4	46	6	6	5,7	27	9
Золушка	14	2	3	5	9	12,3	10	9

***Примечание.** Расшифровка сокращений: М1000 – масса 1000 зерен; НАТ – натура зерна; СТК – стекловидность зерна; СБ – содержание белка в зерне; СК – содержание клейковины в зерне; ВМ – выход муки; ОБХ – объемный выход хлеба; ОХО – общая хлебопекарная оценка.

Приложение И.4 –. Коэффициенты вариации хозяйственно ценных признаков линий яровой мягкой пшеницы

Название	Коэффициент вариации, %							
	М100	НАТ	СТК	СБ	СК	ВМ	ОБХ	ОХО
Злата (st)	10	1	50	9	11	12	18	7
Линия №23	14	1	9	6	11	14	8	3
Линия №35	15	5	13	4	6	12	15	9
Линия №59	10	5	13	7	9	14	26	8
Линия №65	13	7	22	7	9	5	7	3
Линия №66	15	6	40	7	11	14	25	13
Линия №67	17	3	18	6	4	13	33	7
Линия №70	14	4	47	10	17	4	17	14
Линия №79	13	2	51	9	11	9	16	5
Линия №147	14	5	44	11	11	7	23	9
Линия №150	12	4	22	9	11	9	14	13
Линия №151	10	3	23	9	8	5	16	13
Линия №152	16	4	48	12	18	11	11	7
Линия №153	12	3	35	10	13	6	4	4
Линия №178	10	1	7	6	7	11	17	10
Линия №187	14	7	61	11	16	9	8	7
Линия №215	15	2	39	8	9	6	11	13
Линия №217	14	1	39	4	2	7	10	14
Линия №220	17	2	45	13	21	7	11	7
Линия №221	16	1	31	10	14	6	15	4
Линия №223	14	4	52	11	19	1	4	4

***Примечание.** Расшифровка сокращений: М1000 – масса 1000 зерен; НАТ – натура зерна; СТК – стекловидность зерна; СБ – содержание белка в зерне; СК – содержание клейковины в зерне; ВМ – выход муки; ОБХ – объемный выход хлеба; ОХО – общая хлебопекарная оценка.

Приложение К.1 –.Частные и комплексные индексы оценки хозяйственно ценных признаков сортов яровой мягкой пшеницы

	Частные индексы																			КИ
	ПГ	БР	СР	МЧ	СЛ	ВСК	ВП	ВР	УР	ДК	ЧЗГК	МЗГК	М100	НАТ	СБ	СК	ВМ	ОВХ	ОХО	
Злата (st)	1,04	0,55	1,06	0,76	0,85	1,00	0,96	0,97	1,04	1,01	0,96	1,00	1,02	1,01	1,05	1,04	1,04	1,00	1,04	0,47
Саратовская 74	1,04	0,55	1,06	1,26	0,85	0,94	1,01	0,90	0,98	0,96	0,97	1,09	1,06	1,00	1,55	0,99	0,98	1,01	1,01	0,92
Агата	1,04	0,55	1,06	1,17	1,10	0,93	0,99	1,12	0,91	1,01	1,14	1,09	0,96	0,99	0,95	1,00	1,00	1,00	1,13	0,93
Тулайковская 108	1,04	1,27	1,49	0,95	1,10	0,88	1,00	0,93	0,94	1,05	0,89	1,00	1,04	1,00	1,21	1,01	1,00	0,97	1,09	2,12
Симбирцит	1,04	0,55	1,06	1,26	1,10	0,93	0,99	0,88	1,10	0,99	0,91	1,00	1,10	1,00	0,96	0,96	0,96	0,97	0,92	0,58
Тюменская 29	0,63	0,55	1,06	1,06	1,10	0,96	0,97	1,00	0,98	0,95	0,95	1,00	0,98	1,01	0,91	1,06	1,06	0,99	1,00	0,36
Обская 2	1,04	0,55	0,64	0,86	1,10	0,88	0,99	0,90	1,16	1,00	0,99	1,18	1,12	0,99	1,11	0,94	0,93	0,95	0,95	0,35
Тобольская	1,04	0,18	0,64	0,95	1,10	0,84	1,02	0,85	1,12	0,98	0,95	1,00	1,02	1,02	1,14	0,95	0,92	1,02	0,95	0,10
Алтайская Жница	1,04	0,55	0,64	0,76	0,73	0,88	1,00	0,88	1,06	1,11	0,94	1,00	1,06	1,00	1,13	1,02	1,00	0,99	1,09	0,24
Маргарита	0,63	0,55	0,64	1,06	0,85	0,91	1,02	0,88	1,37	1,01	1,03	1,18	1,13	1,00	0,74	0,89	0,84	1,00	0,88	0,14
Учитель	0,63	0,18	0,64	0,76	0,85	0,93	1,02	0,89	0,88	1,03	1,01	1,09	1,03	0,99	1,16	0,98	0,94	1,01	0,88	0,03
Фаворит	1,04	1,27	1,49	1,17	0,85	0,87	1,04	0,95	0,94	1,06	1,03	1,00	0,89	1,01	0,95	0,95	0,95	1,03	1,06	1,51
Гранни	1,04	0,55	1,06	0,95	1,10	0,93	1,02	1,16	1,01	1,01	1,04	1,18	1,05	1,00	0,71	0,94	0,92	1,02	0,78	0,39
Тризо	1,04	0,55	1,06	0,95	0,85	0,91	1,02	1,11	0,97	0,93	0,97	1,09	0,95	1,01	0,95	1,01	1,04	1,03	1,06	0,52
Ирень	1,04	0,91	1,06	0,76	1,10	0,97	0,95	1,01	0,98	1,09	0,94	0,91	0,95	1,00	1,31	1,18	1,24	1,01	1,09	1,55
Бомбона	1,04	0,55	0,64	1,06	1,10	0,91	1,01	1,06	0,87	1,01	1,11	1,09	0,94	1,00	1,01	1,04	1,07	0,99	1,05	0,48
Л-57	1,04	0,91	1,06	0,76	1,10	0,91	0,99	1,07	0,80	1,16	1,11	1,00	0,90	0,97	1,09	1,08	1,13	0,97	1,07	1,04
Ласка	1,04	0,91	1,06	1,26	1,10	0,97	1,00	1,09	1,09	1,02	1,14	1,09	0,97	0,99	0,86	0,95	0,95	1,02	1,07	1,70
Арабелла	1,04	0,55	0,64	1,26	1,10	0,95	0,99	1,04	1,12	0,81	0,94	0,91	0,97	0,99	0,88	0,97	0,97	1,00	1,02	0,32
Гранова	1,04	0,91	1,49	1,06	1,10	0,95	1,01	1,10	0,90	1,01	0,90	1,00	1,05	0,99	0,87	0,98	0,99	0,98	0,82	0,87
Мандарина	1,04	0,55	0,64	1,26	0,85	0,89	1,02	1,04	1,19	0,90	1,21	1,09	0,91	0,99	0,91	0,95	0,95	1,05	0,97	0,38
Канюк	1,04	0,91	1,91	1,06	0,85	0,86	0,97	1,11	1,00	1,01	0,99	1,18	1,07	0,99	0,83	0,93	0,90	0,97	1,03	1,38
Золушка	1,04	0,91	1,06	0,15	1,10	0,91	0,99	1,06	0,60	0,88	0,86	0,73	0,81	1,04	0,72	1,11	1,22	1,02	1,05	0,05

***Примечание. Расшифровка сокращений приведена в приложении К.2.**

Приложение К.2 – Частные и комплексные индексы оценки хозяйственно ценных признаков линий яровой мягкой пшеницы

	Частные индексы																			КИ
	ПГ	БР	СР	МЧ	СЛ	ВСК	ВП	ВР	УР	ДК	ЧЗГК	МЗГК	М100	НАТ	СБ	СК	ВМ	ОБХ	ОХО	
Злата (st)	0,83	0,39	0,83	0,96	1,1	1,00	0,96	1,00	0,99	1,19	0,96	0,92	1,01	1,02	0,87	0,94	0,92	1,02	1,00	1,05
Линия №23	0,94	1,18	1,50	1,35	0,9	0,82	1,04	0,88	1,04	1,08	0,98	1,00	1,03	1,01	1,11	1,02	1,01	0,97	1,11	1,05
Линия №35	1,04	1,18	1,50	0,58	0,9	0,87	1,02	0,93	1,03	0,96	1,00	1,00	1,12	1,00	1,12	0,98	0,94	1,00	1,09	1,02
Линия №59	0,94	0,92	1,50	1,35	1,1	0,91	1,00	0,98	0,96	1,01	0,83	0,75	0,97	0,96	1,25	1,10	1,15	0,97	1,25	1,07
Линия №65	1,04	1,18	1,50	0,96	1,1	0,87	1,02	0,96	1,00	0,85	0,67	0,83	1,07	0,99	0,93	1,06	1,08	0,96	0,65	0,77
Линия №66	0,83	0,92	1,17	0,19	1,1	0,89	1,02	0,88	0,91	0,99	0,98	0,92	0,99	1,00	1,06	0,93	0,88	1,04	1,00	1,02
Линия №67	1,04	1,18	1,50	0,58	1,1	0,91	1,00	0,93	0,87	0,89	1,10	1,08	0,96	1,03	1,17	1,08	1,11	0,97	1,21	1,09
Линия №70	0,94	0,92	0,17	1,73	1,1	0,91	0,97	0,98	0,94	1,02	1,10	1,08	0,96	1,01	0,85	0,99	1,00	0,99	0,97	0,93
Линия №79	0,83	0,66	0,50	0,58	1,1	0,89	1,00	0,91	1,05	1,02	1,16	1,08	0,99	1,00	0,93	0,91	0,87	0,96	0,98	1,05
Линия №147	0,63	0,92	1,17	0,58	0,7	0,95	0,97	0,87	1,14	1,08	1,10	1,00	0,98	0,98	1,01	0,97	0,92	0,99	0,84	0,93
Линия №150	0,94	0,39	0,17	0,58	0,9	0,95	0,99	0,98	1,06	0,93	1,00	0,92	0,95	0,96	1,15	1,03	1,04	0,99	1,06	1,00
Линия №151	0,83	0,92	0,83	0,96	0,9	0,95	1,01	0,94	0,99	0,95	0,89	0,92	1,04	1,00	1,09	1,13	1,18	1,02	1,09	0,98
Линия №152	0,94	0,66	0,83	0,19	0,9	0,91	1,00	0,86	0,91	0,90	0,94	1,00	1,00	1,02	0,96	0,96	0,98	1,03	1,05	1,02
Линия №153	0,94	0,66	0,83	0,58	1,1	0,80	1,06	0,95	1,02	1,00	1,01	1,08	1,07	1,01	1,08	1,02	1,04	1,02	0,98	1,02
Линия №178	1,04	0,66	0,50	0,96	0,9	0,87	1,03	0,86	1,10	1,14	1,25	1,17	0,94	0,99	1,21	1,03	1,04	0,98	1,08	1,05
Линия №187	0,94	0,66	1,50	0,58	1,1	0,87	0,98	0,96	0,97	0,95	1,15	1,17	1,01	1,02	0,63	0,94	0,94	0,98	0,94	0,98
Линия №215	0,73	0,92	1,17	1,35	1,1	0,89	1,00	0,93	1,00	1,01	0,96	1,00	1,01	1,02	0,92	0,98	0,96	1,02	0,84	0,93
Линия №217	0,94	0,66	0,83	0,58	1,1	0,85	1,02	0,84	1,01	1,03	0,88	0,92	1,16	0,99	1,05	0,88	0,84	1,01	0,97	1,00
Линия №220	0,73	0,39	0,50	0,96	1,1	0,93	0,95	0,89	1,03	0,91	0,99	0,92	0,91	0,99	1,02	1,03	1,07	1,01	0,99	1,02
Линия №221	0,83	0,92	1,50	0,58	1,1	0,95	0,96	0,88	0,97	0,91	0,88	0,83	0,90	0,99	0,91	1,08	1,11	0,98	0,99	1,05
Линия №223	0,94	0,92	1,17	0,58	0,9	0,95	0,98	0,92	1,09	1,21	1,15	1,08	0,97	1,01	0,67	0,97	0,97	1,08	0,92	1,02

*** Примечание.** Расшифровка сокращений: ПГ – устойчивость к полеганию; БР – бурая ржавчина; СР – стеблевая ржавчина; МР – мучнистая роса; СЛ – септориоз листьев; ВСК – период «всходы–колошение»; ВП – вегетационный период; ВР – высота растений; УР – урожайность; ДК – длина колоса; ЧЗГК – число зерен с главного колоса; МЗГК – масса зерна с главного колоса; М1000 – масса 1000 зерен; НАТ – натура зерна; СТК – стекловидность зерна; СБ – содержание белка в зерне; СК – содержание клейковины в зерне; ВМ – выход муки; ОБХ – объемный выход хлеба; ОХО – общая хлебопекарная оценка.

Приложение Л.1 – Гибридные комбинации, полученные с участием изученных образцов яровой и озимой мягкой пшеницы

№	Яровая × озимая	№	Яровая × яровая
	Гибридные комбинации		Гибридные комбинации
1	Канюк (♀) × Школа (озим) (♂)	1	Ирень (♀) × Линия 217 (♂)
2	Канюк (♀) × Алексеич (озим) (♂)	2	Аль Варись (♀) × Линия №35 (♂)
3	Канюк (♀) × Зюгановка (озим) (♂)	3	F1 (Линия 217 (♀) × Ирень (♂) × Линия №67)
4	Гранни (♀) × Ермоловка (озим) (♂)	4	Канюк (♀) × Злата (♂)
5	Гранни (♀) × Зюгановка (озим) (♂)	5	Канюк (♀) × Ирень (♂)
6	Злата (♀) × F1 (Злата × Скипетр × Скипетр × Таня (озим) (♂))	6	Канюк (♀) × Одетта (♂)
7	Злата (♀) × F1 (Ермоловка × Школа (озим) (♂))	7	Гранни (♀) × Злата (♂)
8	Злата (♀) × F1 (Зюгановка × Школа (озим) (♂))	8	Иволга (♀) × F1 (Канюк × Линия №35) (♂)
9	Злата (♀) × F1 (Ермоловка × Алексееч (озим) (♂))	9	Золушка (♀) × Злата (♂)
10	Тулайковская 108 (♀) × F1 (Зюгановка × Алексееч (озим) (♂))	10	Ирень (♀) × Злата (♂)
11	Тулайковская 108 (♀) × F1 (Зюгановка × Школа (озим) (♂))	11	Линия №153 (♀) × Злата (♂)
12	Тулайковская 108 (♀) × F1 (Скипетр × М17-57(озим) (♂))	12	Линия №153 (♀) × Ирень (♂)
13	Фаворит (♀) × F1(Зюгановка × Алексееч (озим) (♂))	13	Лицамеро (♀) × Гранни (♂)
14	Фаворит (♀) × F1 (Ермоловка × Алексееч (озим) (♂))	14	Ирень (♀) × Линия 217 (♂)
15	Линия №35 (♀) × F1 (Скипетр × М17-57 (озим) (♂))	15	Линия 217 (♀) × Ирень (♂)
16	Линия №35 (♀) × Володя (озим) (♂)	16	Тулайковская 108 (♀) × Злата (♂)
17	Линия №67 (♀) × Зюгановка (озим) (♂)	17	Фаворит (♀) × Тулайковская 108 (♂)
18	Канюк (♀) × Ермоловка (озим) (♂)	18	Фаворит (♀) × Злата (♂)
19	Канюк (♀) × Сократ (озим) (♂)	19	Злата (♀) × Тулайковская 108 (♂)
20	Арабелла (♀) × Зюгановка (озим) (♂)	20	Линия №35 (♀) × Фаворит (♂)
21	Арабелла (♀) × Ермоловка (озим) (♂)	21	Линия №67 (♀) × Ирень (♂)

Приложение Л.2 – Акты внедрения результатов диссертационной работы в селекционный процесс: а – ФГБОУ ВО Омский ГАУ имени П.А. Столыпина; б – ФИЦ «Немчиновка».

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.А. СТОЛЫПИНА» (ФГБОУ ВО Омский ГАУ) Ул. Институтская площадь, 1, Омск, 644006 тел: (3812) 65-11-46, факс (3812) 65-17-35 E-mail: adm@omgau.ru www.omgau.ru На № _____ от _____ 2026 г. № 01.06.2026 № 01.06.2026/11/3 УТВЕРЖДАЮ Проректор по научной работе ФГБОУ ВО Омский ГАУ _____ Н.В. Гоман 2026 г. АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ Настоящий акт составлен о внедрении результатов диссертационной работы Наджодова Бобурджона Баходуровича на тему: «Селекционно-генетическая оценка коллекции яровой мягкой пшеницы (<i>Triticum aestivum</i> L.) в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России», выполненной на кафедре генетики, селекции и семеноводства ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева. Результатами научно-исследовательской работы являются: 1. Выделение источников высокой продуктивности, качества зерна, устойчивости к грибным болезням, а также носителей ценных генов и аллелей, представляющих интерес для селекции яровой мягкой пшеницы. 2. Создание гибридных комбинаций с использованием выделенных доноров хозяйственно ценных признаков для получения нового исходного материала яровой мягкой пшеницы. 3. Передача в ФГБОУ ВО Омский ГАУ 12 гибридных комбинаций поколения F₂, полученных с использованием сортов и линий, выделенных по результатам селекционно-генетической оценки. Выделенные доноры яровой мягкой пшеницы и переданный гибридный материал используется в селекционном процессе международного селекционно-генетического центра Омского государственного аграрного университета по программе создания новых высокопродуктивных сортов яровой мягкой пшеницы, сочетающих высокое качество зерна, устойчивость к болезням и адаптивность в условиях Западной Сибири. Директор международного селекционно-генетического центра _____ В.П. Шаманин а	ФИЦ «НЕМЧИНОВКА» МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» (ФИЦ «Немчиновка») ИНН 5032026138 ОГРН 1025004063061 121205, г. Москва, тер. Инновационного центра Сколково, 6-й Большой, д. 30, стр. 1, оф. 304 (495) 280-65-00 E-mail: info@ficnemchinovka.ru, www.ficnemchinovka.ru 15.06.2026 № 134 АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ Настоящий акт составлен о внедрении результатов диссертационной работы Наджодова Бобурджона Баходуровича на тему: «Селекционно-генетическая оценка коллекции яровой мягкой пшеницы (<i>Triticum aestivum</i> L.) в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России», выполненной на кафедре генетики, селекции и семеноводства ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева. Результатами научно-исследовательской работы являются: 1. Выделение источников высокой продуктивности, качества зерна, устойчивости к грибным болезням, а также носителей ценных генов короткостебельности, фотопериодической чувствительности, реакции на яровизацию и пшенично-яровых транслокаций, представляющих селекционную ценность для создания новых сортов яровой мягкой пшеницы. 2. Создание на основе выделенных доноров 18 гибридных комбинаций яровой мягкой пшеницы, включая скрещивания между яровыми и озимыми формами, направленные на объединение высокой продуктивности, качества зерна и устойчивости к биотическим и абиотическим факторам среды. 3. Формирование исходного селекционного материала, используемого для дальнейшего отбора перспективных генотипов и создания новых сортов пшеницы, адаптированных к условиям Центрального района Нечернозёмной зоны Российской Федерации. Результаты исследований внедрены и используются в селекционном процессе ФИЦ «Немчиновка» при создании нового исходного материала яровой мягкой пшеницы. ВРИО Директор ФИЦ «Немчиновка» (Евдоким Н.П.) б
---	--

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ СЛОВ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- ЦРНЗ – Центральный район Нечернозёмной зоны России
- MAS – Маркер-опосредованная селекция
- ПЦР – Полимеразная цепная реакция
- Kompetitive allele specific PCR (KASP) – Конкурентная аллель-специфичная ПЦР
- Rht* (Reduced height) – Гены уменьшенная высота
- Vrn* (Vernalization response) – Система генов реакции на яровизацию
- Ppd* (Photoperiod response) – система генов фотопериодической чувствительности
- High Molecular Weight GS (HMW-GS) – высокомолекулярные субъединицы глюteniны (ВМСГ)
- ВК – «всходы–колошение»
- ВП – вегетационный период
- ВР – высота растений
- ПГ – устойчивость к полеганию
- БР – бурая ржавчина
- СР – стеблевая ржавчина
- МР – мучнистая роса
- СЛ – септориоз листьев
- УР – урожайность
- ДК – длина колоса
- ЧЗГК – число зерен с главного колоса
- МЗГК – масса зерна с главного колоса
- НЗ – натура зерна
- СТК – стекловидность зерна
- СБ – содержание белка в зерне
- СК – содержание клейковины в зерне
- ВМ – выход муки
- ОБХ – объемный выход хлеба
- ОХО – общая хлебопекарная оценка
- КИ – комплексный индекс